Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA de Béjaïa

Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur
Département de Physique

Mémoire

Présenté par Mlle. BECHEKER Katia

En vue de l'obtention du diplôme de Master en physique

Option : Physique Théorique

Thème

La Classification des Trous Noirs : de l'Univers Electromagnétique vers l'Univers Gravitationnel

Soutenu publiquement devant le jury suivant :

Président	Mr	Gharbi Abdelhakim	Professeur	U.A.M	Béjaïa
Rapporteur	Mr	Aoudia Sofiane	MCA	U.A.M	Béjaïa
Examinateur	Mr	Foughali Toufik	MCA	U.A.M	Béjaïa

Université A.MIRA de Béjaïa, Juillet 2019

À ma très chère mère pour ses encouragements permanents, son amour et sa tendresse ...

Remerciements

Ce travail est le fruit de l'implication soutenue de plusieurs piliers à qui je souhaite témoigner ma gratitude. Ainsi, je tiens a rendre un vibrant hommage au Professeur Monsieur AOUDIA Sofiane qui a su a la fois m'orienter tout au long de cette thèse , et nourrir ma passion pour l' Astrophysique. En effet, je dois à Mr AOUDIA le mérite d'avoir aiguisé ma curiosité scientifique, me poussant à aller toujours plus loin dans mes recherches dans le domaine fascinant des trous noirs. Son enseignement m'a permis d'étendre mes horizons et d'explorer l'univers électromagnétique et gravitationnel.

C'est pour moi un honneur que Monsieur GHARBI Abdelhakim, Professeur à l'université A .MIRA de Béjaia, accepte de présider le jury de ma soutenance. Qu'il veuille agréer l'expression de ma très haute considération.

Que Monsieur FOUGHALI Toufik, MCA à l'université A.Mira de Béjaia , puisse trouver ici l'expression de ma profonde gratitude tant pour avoir accepter d'examiner mon travail que pour m'avoir communiquer sa passion pour l'élégance des équations.

Je remercie également Messieurs BELABBAS Abdelmoumene, BELHADI Zahir et ADEL Kassa qui ont été d'un apport considérable tout au long de cette formation.

Toute tentative pour rendre hommage à ma mère est vaine... Son dévouement et son pr écieux soutien sont tels que les mots ne sont pas suffisants pour lui témoigner amour et remerciements. La gratitude que je veux lui dédier est indicible.

Un grand merci à mon père pour son aide précieuse et son assistance moral. Il est pour moi un modèle, et c'est de mon désir de lui ressembler qu'est née ma passion pour la physique. Je remercie également mon frère Ryan et ma petite sœur Imèn pour leurs encouragements et leur implication. Je ne peux oublier mes tantes, mes cousines Maya, Meriem et Aida ainsi que mes amies Laldja, Hassiba, Lydia et Hajar.

Table des matières

Remerciements **3**

Introduction générale **5**

1 Généralités sur les trous noirs **7**
1.1 Introduction . . . 7
1.2 Théories et historique des trous noirs . . . 7
1.3 Structure et classification des trous noirs . . . 11
1.4 Mécanismes de formation . . . 13

2 Observation et détection des trous noirs **17**
2.1 Introduction . . . 17
2.2 Méthodes de détection . . . 17
2.2.1 Méthode des lentilles gravitationnelles . . . 17
2.2.2 Repérage du disque d'accrétion . . . 18
2.2.3 Les sursauts de rayons γ . . . 19
2.2.4 Les jets de plasma . . . 19
2.2.5 Le redshift gravitationnel . . . 20
2.2.6 L'accélération des étoiles environnantes . . . 20
2.2.7 Les systèmes binaires . . . 21
2.2.8 La détection d'ondes gravitationnelles . . . 23

3 Processus de création des trous noirs **24**
3.1 Introduction . . . 24
3.2 L'accrétion . . . 24
3.3 L'équilibre hydrostatique . . . 25
3.4 La limite d'Eddington . . . 27
3.5 La limite de Chandrasekhar . . . 29

4 Études de corrélation entre la masse et la distance des trous noirs **32**
4.1 Introduction . . . 32
4.2 La collecte de données . . . 32
4.2.1 Représentations graphiques . . . 33
4.2.2 Interprétation des résultats . . . 43

Conclusion générale et perspectives **45**

A Trous noirs database **46**

Bibliographie **135**

Introduction générale

L'univers tel que nous le connaissons est régi par quatre interactions fondamentales : l'interaction électromagnétique, l'interaction faible, l'interaction nucléaire forte et l'interaction gravitationnelle.

Cette idée de l'unification des forces est étroitement liée à la création de l'univers observable.

La gravitation est une force fondamentale responsable de l'attraction entre deux corps massifs. Mise en évidence par Newton en 1686, il s'agit de la première interaction découverte, et qui a posé les bases de la mécanique classique.

Il faudra attendre 1915 pour qu'Einstein donne une nouvelle interprétation à la gravitation, la voyant comme une déformation de l'espace-temps par une source gravitationnelle où la réponse d'une particule test a cette déformation se fait suivant une géodésique, dans sa théorie de la relativité générale.

En 1916, Schwarzschild parvient a trouver une solution à l'équation d'Einstein mais en remarquant une certaine singularité qui pose le problème de savoir s'il existe des objets dont la vitesse de libération est supérieur à la vitesse de la lumière, et si de tels objets existent, quels seraient les conséquences ?

C'est à partir du début des années 1930 que Chandrasekhar, en appliquant la relativité générale a la physique stellaire a franchi un cap et a fait un premier pas vers la démonstration de l'existence des trous noirs, en suggérant que les étoiles à l'état de « naine blanche » finissaient par s'effondrer sur elles-mêmes si leur masse dépasse 1.44 $M_{\odot}$, qui est un premier état d'effondrement gravitationnel menant à un trou noir.

Quelques années plus tard, en 1939, Oppenheimer et Volkoff reprirent le travail de Chandrasekhar après la découverte du neutron, ils étudièrent l'effondrement des étoiles à neutron sous l'effet de leur propres masse si elles dépassaient la limite de $3M_{\odot}$, représentant le second état d'effondrement gravitationnel.

Il faudra attendre le début des années 60 où le développement de l'observation astronomique par rayon X, confirmera l'existence des trous noirs, avec notamment la découverte de Cygnus X-1 en 1965, ce qui marquera le début de l'age d'or des trous noirs.

Depuis lors, de plus en plus d'observations de systèmes astrophysique contenant des trous noirs sont réalisés inspirant la communauté scientifiques a émettre de plus en plus de théories, notamment Hawking qui suggère l'existence de mini trous noirs, appelés « trous noirs primordiaux » lors du Big Bang.

Les trous noirs de part leur nature invisible, sont difficile à mesurer, plusieurs méthodes de détection ont vu le jour, de la plus ancienne méthode, celle des lentilles gravitationnelles jusqu'à la plus récente celle des ondes gravitationnelles qui a été réalisée en 2015 par l'interféromètre LIGO.

Pour finir, un événement révolutionnaire a été observé en avril 2019, où pour la première fois, nous avons pu observé une photo d'un trou noir se trouvant au cœur de la galaxie géante M87, et qui représente l'aboutissement du travail acharné de plusieurs scientifiques.

A la lumière de ces travaux, l'évolution de l'étude des trous noirs sera je pense la clé de la compréhension de l'univers et peut être de l'unification des interactions fondamentales.

Voilà pourquoi, nous allons explorer à travers ce mémoire la corrélation entre deux paramètres des trous noirs ; à savoir leur masse M et leur distance d, dans le but de déterminer ce que la présence ou l'absence d'une corrélation linéaire nous apprend sur la création de l'univers.

Afin de mener à bien la rédaction de ce mémoire, nous avons organiser notre travail en quatre chapitres comme suit :Dans le premier chapitre, nous somme revenus sur les bouleversements historiques qui ont amené à l astrophysique telle que nous la connaissons aujourd'hui et nous nous sommes familiarisés avec les concepts de bases caractérisant un trou noir ; à savoir leur structure ainsi que leur mécanisme de formation.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenter les différentes méthodes d'observations des trous noirs, des plus anciennes comme celle des lentilles gravitationnelles aux plus récentes, celle des ondes gravitationnelles.
Le troisième chapitre fut entièrement dédié à l'exposé des processus fondamentaux qui régissent la vie et la mort des étoiles.

Et pour finir, le quatrième et dernier chapitre consiste en une étude de la corrélation entre la masse et la distance des trous noirs.

Chapitre 1

Généralités sur les trous noirs

« Le commencement de toutes les sciences, c'est l'étonnement de ce que les choses sont ce qu'elles sont. »
– Aristote.

1.1 Introduction

Albert Einstein a dit : «La plus belle chose que nous puissions éprouver, c'est le mystère des choses». [8]
Les trous noirs font partie des objets les plus mystérieux et les plus énigmatiques de notre univers. C'est sûrement pour cette raison qu'ils fascinent tant ; que ce soit les scientifiques ou le grand public. Ils sont d'ailleurs une source d'inspiration pour de nombreux ouvrages de vulgarisation et de nombreux films comme « Le Trou Noir » (1979) et le célèbre « Interstellar » (2014) ont font la vedette.

En opposition à leur notoriété, nos connaissances actuelles sur les trous noirs sont très limitées, et bien que le nom soit connu de tous, personne ne sait réellement ce qui se passe au cœur d'un trou noir ; au-delà de ce que l'on appelle l'horizon des événements. En effet, ces monstres gravitationnels sont « invisibles » ce qui rend toute observation directe impossible, ils ne sont détectables que grâce aux déformations optiques qu'ils provoquent sur les objets qui les entourent.

Grands architectes de notre univers, portails vers d'autres univers, téléportation et voyage dans le futur ; les théories concernant les trous noirs semblent tout droit sortir d'un film de science fiction. Pourtant ; et bien que ces théories ne soient pas vérifiables à l'heure actuelle, elles sont bel et bien basée sur des modèles mathématiques.

Si aujourd'hui l'existence des trous noirs est un fait avéré, elle fut pendant longtemps remise en question par la majorité de la communauté scientifique et a suscité de nombreux débats. Des scientifiques de renom comme Eddington, Oppenheimer et Einstein ont d'ailleurs réfuté l'existence des trous noirs et ce, alors même qu'ils ont joué un rôle clé dans le développement de leur théorie (dans le cas d' Oppenheimer et d'Einstein).

Mais alors qu'est ce qu'un trou noir et quel est son historique ? Comment est il passé du statut de simple spéculation à une science à bases solides ? De quoi se compose t-il et quels sont les mécanismes de sa formation ? C'est à ces questions que nous allons essayer de répondre tout au long de ce chapitre, afin de mieux nous familiariser avec le concept de trou noir et de ses bases.

1.2 Théories et historique des trous noirs

Il y a plus de 340 ans, Ole Rømer mesurait la vitesse de la lumière pour la première fois. Une dizaine d'années plus tard, Isaac Newton écrivit les lois de la gravitation universelle.
D'après les lois de gravitation de Newton, la vitesse d'échappement d'un objet de masse M et de rayon R est décrite par :

$$\frac{1}{2} \cdot V_{esc}^2 = \frac{GM}{R} \qquad \Longrightarrow \qquad V_{esc} = \left(\frac{2GM}{R}\right)^{1/2} \tag{1.1}$$

L'histoire des trous noirs commence à cette période là, avec la question de savoir s'il existe des objets dont la vitesse de libération serait supérieure à celle de la lumière, $V_{esc} > c$? Et si c'est le cas, qu'est ce que cela impliquerait ?

$$\boxed{\frac{2GM}{Rc^2} > 1 \quad ?} \tag{1.2}$$

Le premier à avoir envisagé l'existence de tels objets fut John Michell en 1783 ; il parle alors « d'étoiles sombres ». Dans son article « Philosophical Transactions » il émet une hypothèse audacieuse pour l'époque ; selon lui, les particules de lumières sont attirées de la même façon que les autres corps. Il pense que lorsqu'une étoile devient trop massive, elle attire la lumière sous l'influence de sa force gravitationnelle, conclusion ; cette étoile bien qu'invisible , serait décelable grâce à ses effets gravitationnels.
Seulement, ce nouveau concept, impossible à formaliser dans le cadre de la physique newtonienne, laisse sceptique la communauté scientifique et il faudra attendre l'avènement de la relativité générale pour redécouvrir ces travaux...

Indépendamment des travaux de Michell, Pierre-Simon de Laplace pensait lui aussi que les objets les plus massifs de l'univers sont invisibles ; l'attraction qu'ils exercent sur les particules de lumières étant trop grande pour que la lumière nous parvienne. Cette fois ci encore, ces travaux ne reçurent pas d'écho. Cela est sûrement dû au fait qu'à cette époque, la nature même de la lumière était mal comprise et divisait encore les scientifiques. Il fallut attendre les travaux d'Albert Einstein et de Louis de Broglie pour comprendre qu'elle est de nature double : « onde-corpuscule ».

Mais alors que les recherches sur les trous noirs sont au point mort, Albert Einstein publie en 1915 sa théorie de la relativité générale. Cette théorie redéfinit les lois de la gravitation universelle. En effet, celle-ci n'est plus définie comme une force mais comme une déformation de l'espace-temps. On ne parle alors plus de lignes droites mais de géodésiques de l'espace ou de courbures de moindre action. Ainsi une particule ou un objet, qu'ils soient massifs ou pas, vont suivre une géodésique. Cette courbure de l'espace est due à leurs propres masses et/ou celles des objets qui les entourent. Einstein l'ignore encore mais il vient de fournir le cadre mathématique adéquat à l'étude des trous noirs...

Quelques mois seulement après la publication des travaux d'Einstein, Karl Schwarzschild trouve, en 1916, une solution exacte aux équations de la relativité générale. Cette solution décrit le champ gravitationnel à l'extérieur d'une source, produit par un corps à symétrie sphérique.
Son raisonnement est le suivant ; à partir de l'équation d'Einstein dans le vide : $R_{\mu\nu} = 0$ il réécrit l'expression du carré de l'intervalle d'espace-temps $dS^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$. Il obtient alors l'équation suivante :

$$\boxed{dS^2 = c^2\left(1 - \frac{2GM}{c^2}\cdot\frac{1}{r}\right)dt^2 - \frac{1}{\left(1-\frac{2GM}{rc^2}\right)}dr^2 - r^2\left(d\theta^2 + sin^2\theta d\phi^2\right)} \tag{1.3}$$

↳ *Il sagit de la solution de Schwarzschild.*

La métrique de Schwarzschild qui permet de décrire la déformation de l'espace-temps dans le vide autour d'une masse sphérique est la suivante :

$$\begin{pmatrix} 1-\frac{2GM}{rc^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-\frac{2GM}{rc^2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2sin^2\theta \end{pmatrix} \qquad avec \qquad \left(x^0, x^1, x^2, x^3\right) = (ct, r, \theta, \phi) \tag{1.4}$$

Il découvre que la théorie d'Einstein permet l'existence de singularités gravitationnelles, région de l'espace-temps où le champ gravitationnel devient infini. En effet, à partir de l'équation 1.4 on voit bien qu'il existe une solution ; qui sera par la suite nommée rayon de Schwarzschild R_s, et qui est le rayon minimal que doit avoir une source et en-deçà de laquelle la vitesse de libération dépasse la vitesse de la lumière.
Son expression est la suivante :

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} \tag{1.5}$$

avec :
R_s : rayon de Schwarzschild, en mètre ;
G : constante gravitationnelle, en mètre cube par kilogramme par seconde au carré ;
M : masse de l'objet, en kilogramme ;
c : vitesse de la lumière dans le vide, en mètre par seconde.

$\frac{2G}{c^2}$ est une constante, en remplaçant G et c par leurs valeurs on obtient : $R_s = 1.483 \cdot 10^{-30} km \cdot kg^{-1} \cdot M$

Seulement, cette expression du rayon de Schwarzschild R_s nécessite de donner la masse de l'objet en kilogramme ; pour des raisons pratiques nous allons la convertir en unités de masse solaire. Calculons d'abord le rayon de Schwarzschild du Soleil :

$$M_\odot = 2 \cdot 10^{30} kg \quad \Longrightarrow \quad R_{s\odot} = (1.483 \cdot 10^{-30} km \cdot kg^{-1}) \cdot (2 \cdot 10^{30} kg) = 2.97 km \simeq 3 km \tag{1.6}$$

Donc :

$$\frac{R_s}{R_{s\odot}} = \frac{\left(\frac{2GM}{c^2}\right)}{\left(\frac{2GM_\odot}{c^2}\right)} = \frac{M}{M_\odot} \quad \Longrightarrow \quad R_s = R_{s\odot} \cdot \frac{M}{M_\odot} = 3km \left(\frac{M}{M_\odot}\right) \tag{1.7}$$

$\frac{M}{M_\odot}$ étant la masse de l'objet en unités de masse solaire.

Finalement on arrive à une expression simplifiée du rayon de Schwarzschild R_s :

$$\boxed{R_s = 3M} \tag{1.8}$$

avec :
R_s : rayon de Schwarzschild, en kilomètre ;
M : la masse de l'objet en masse solaire.

En 1918, peu de temps après la publication des travaux de Schwarzschild, une autre solution aux équations d'Einstein est proposée par Hans Reissner et Gunnar Nordström. Comme dans le cas de la solution Schwarzschild, il s'agit d'une équation décrivant le champ gravitationnel à l'extérieur d'une source, produit par un corps à symétrie sphérique et sans rotation ; la seule différence étant que ce corps est chargé électriquement.
Ils obtiennent ainsi ce que l'on appelle la solution de Reissner-Nordström et qui n'est autre qu'une généralisation de celle de Schwarzschild.
Le carré de l'intervalle d'espace-temps dS^2 s'écrit alors :

$$\boxed{dS^2 = -\left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right) dt^2 + \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2 \left(d\theta^2 + sin^2\theta d\phi^2\right)} \tag{1.9}$$

↳ *Il sagit de la solution de Reissner-Nordström dans le système d'unités géométriques.*

La métrique de Reissner-Nordström est donc :

$$\begin{pmatrix} -\left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right)^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r^2 sin^2\theta \end{pmatrix} \tag{1.10}$$

avec : $\left(x^0, x^1, x^2, x^3\right) = (ct, r, \theta, \phi)$, $G = c = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 1$ *(système d'unités géométriques)* et $A_a = \left(\frac{Q}{r}, 0, 0, 0\right)$
A_a étant le potentiel électromagnétique et Q la charge électrique.

A partir de la solution de Reissner-Nordström 1.9, le rayon minimal que doit avoir une source chargée électriquement est :

$$r_\pm = M \pm \sqrt{M^2 - Q^2} \quad avec \quad |Q| \ll M \tag{1.11}$$

Un autre pas vers la démonstration de l'existence des trous noirs fut fait par Subrahmanyan Chandrasekhar au début des années 1930. Il fut le premier à suggérer que les étoiles aussi connaissent la mort. En effet, avant lui,

on ignorait tout de l'avenir des étoiles lorsqu'elles ont épuisé leur combustible nucléaire et on pensait qu'elles terminaient leurs existences en "naines blanches". Il reprit entre autres les travaux d'Arthur Eddington qui s'était lui aussi penché sur le problème mais sans parvenir à des résultats concluants.

Chandra suggéra qu'une naine blanche, après avoir épuisé son carburant nucléaire, s'effondrerait sur elle même si sa masse dépasse les $1.44M_{\odot}$. Selon ses calculs, au-delà de cette masse limite, aujourd'hui appelée masse de Chandrasekhar ; la pression de dégénérescence des électrons ne peut plus s'opposer à la gravité.

$$\boxed{M_c = 1.44M_{\odot} = 2.9 \cdot 10^{30} kg} \tag{1.12}$$

Ses travaux, présentés lors d'une conférence à la « Royal Astronomical Society » lui valurent une violente opposition de la part d'Eddington qui ira même jusqu'à déclarer « qu'il doit exister une loi de la nature qui empêche une étoile de se comporter de façon aussi absurde ». [7]

Bien que ces calculs soient exactes, Chandrasekhar se trompait sur un point : l'effondrement d'une naine blanche n'est pas forcement un effondrement total, et qui est, comme nous le savons aujourd'hui, un état correspondant à un trou noir. En effet, dans certains cas, cet effondrement donne naissance à une supernova de type Ia ; une étoile à neutrons qui, en raison du principe d'exclusion de Pauli, est un état plus stable.

C'est alors que quelques années plus tard, en 1939, tandis qu'Einstein tentait de prouver que les trous noirs, qui étaient alors appelés « singularité de Schwarzschild » n'existent pas ; Robert Oppenheimer, George Volkoff et Hartland Snyder eux, reprirent les travaux de Chandrasekhar.

Ils étudièrent l'effondrement des étoiles à neutrons et arrivèrent à la conclusion qu'il existe une masse limite, au-delà de laquelle celles-ci s'effondrent en dessous du rayon critique de Schwarzschild, sous l'effet de leur propre gravité. Cette limite, aussi connue sous le nom de limite d'Oppenheimer-Volkoff est d'environs $3M_{\odot}$. Ils découvrirent que lors de l'effondrement, la longueur d'onde de la lumière émise augmentait et donc, se décalait vers le rouge par effet de redshift gravitationnel. Par ailleurs, la trajectoire des rayons de lumière passant dans le champ gravitationnel était de plus en plus déviée si bien qu'elle se referme sur elle-même une fois la limite de Schwarzschild atteinte.

Une fois encore ces travaux laissent perplexe l'ensemble de la communauté scientifique et l'étude des trous noirs ne connaîtra son âge d'or qu'au début des années 60 avec le développement de l'observation astronomique à l'aide des rayons X.

En 1963, Roy Kerr démontre que le moment cinétique d'une étoile en rotation est conservé lors de son effondrement : ce sont les trous noir de Kerr. Par ailleurs, il est très plausible que tous les trous noirs soient des trous noirs de Kerr...

La métrique de Kerr, aussi connue sous le nom de forme de Boyer-Lindquist ; est donnée par l'expression suivante :

$$\boxed{dS^2 = -\left(1 - \frac{2Mr}{\rho^2}\right)dt^2 - \frac{4aMrsin^2\theta}{\rho^2}dtd\phi + \frac{\rho^2}{\Delta}dr^2 + \rho^2 d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{2a^2 Mrsin^2\theta}{\rho^2}\right)sin^2\theta d\phi^2} \tag{1.13}$$

↳ *Il sagit de la solution de Kerr dans les coordonnées de Boyer-Lindquist.*

Avec les fonction Δ et ρ^2 , définies comme étant :

$$\begin{cases} \Delta \equiv r^2 - 2Mr + a^2 \\ \rho^2 \equiv r^2 + a^2 cos^2\theta \end{cases} \tag{1.14}$$

Aussi :
a : est le paramètre de Kerr, il définit le taux de rotation du trou noir ;
et (t,r, θ, ϕ) sont les coordonnées de Boyer-Lindquist tel que :

$t \in \mathbb{R}$: est la coordonnée temporelle ; $\theta \in [0, \pi]$: est la colatitude ;
$r \in \mathbb{R}^+$: est la coordonnée radiale ; $\phi \in [0, 2\pi]$: est la longitude .

C'est alors que les observations astronomiques liées aux trous noirs s'enchaînent, avec notamment, la découverte de Cygnus X-1 par un détecteur de rayons X en 1965 et qui sera proposé comme étant le premier "candidat trou noir" six ans plus tard ; mais aussi avec la découverte de la première étoile à neutrons, sous la forme d'un pulsar (PSR B1919+21) en 1967. Toujours en 1967 John Wheeler utilise le terme « trou noir » pour la première fois. Le terme s'est popularisé à tel point qu'il remplace tous les autres (astres occlus, étoiles invisibles ou encore singularités de Schwarzschild).

Depuis la fin du XX^e siècle, alors que de plus en plus d'observations de systèmes astrophysiques contenant des trous noirs sont réalisées, Stephen Hawking lui ; enchaîne les travaux pertinents sur la physique des trous noirs.

En 1971, il suggère la formation de mini trous noirs, aussi appelés trous noirs primordiaux lors du Big Bang.

Un an plus tard, il écrit les lois de la thermodynamique appliquées aux trous noirs aux côtés de Brandon Carter et de James M. Bardeen.

Mais sa contribution majeure fut faîte en 1974, lorsque Hawking, en se basant sur les lois de la physique quantique ; montra que tous les trous noirs rayonnent. Ce phénomène aujourd'hui appelé « évaporation quantique des trous noirs » ou « rayonnement de Hawking » suggère que pour un objet piégé dans un trou noir, il existe toujours une infime possibilité d'en sortir. Quelques années plus tard il compléta son hypothèse en ajoutant qu'une perte d'information, ou plus exactement une perte de masse, accompagne l'émission de cette radiation.

En 2015, des trous noirs sont observés pour la première fois par le biais de leurs ondes gravitationnelles GW150914. Prédits par la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, ces ondes gravitationnelles sont une preuve supplémentaire de l'existence des trous noirs.

Pour finir, il y a quelques mois à peine, le 10 Avril 2019, un trou noir a été photographié pour la première fois : celui se trouvant au cœur de la galaxie géante M87. Il s'agit d'un évenement d'exception ; l'aboutissement du travail acharné de beaucoup de physiciens, de mathématiciens et de scientifiques en tout genre et il aura fallut pas moins de 236 années pour parvenir à ce résultat.

Une chose est certaine, cette image offre de nouvelles perspectives pour l'observation de l'univers, c'est sûrement la première d'une longue série, car l'histoire des trous noirs, reste encore à écrire...

1.3 Structure et classification des trous noirs

Qu'est ce qu'un trou noir ? Un trou noir est une concentration de masse-énergie qui s'est effondrée gravitationnellement sous sa propre force d'attraction. C'est un objet céleste si dense et si compacte qu'il empêche toute forme de matière ou de rayonnement de se soustraire à sa force gravitationnelle au-delà de ce que l'on appelle l'horizon des événements. Cet horizon est une surface sphérique qui a pour rayon le rayon de Schwarzschild et qui entoure la singularité gravitationnelle – région de l'espace-temps de densité infinie – , séparant l'espace-temps en deux zones distinctes. Seulement, avant de traverser l'horizon des événements, un corps extérieur est d'abord soumis à des forces non négligeables, tel que les forces des marées, qui sont dues à l'attraction gravitationnelle qui règne aux alentours des trous noirs. Aussi, il existe une autre sphère qui entoure les trous noirs, extérieure à celle de l'horizon ; c'est la sphère des photons. Elle a pour rayon trois demi le rayon de Schwarzschild $\frac{3}{2}R_s$, et correspond à l'altitude où la vitesse de satellisation est égale à celle de la lumière. Le nom de la sphère vient du fait que les photons sont les seuls à atteindre une telle vitesse de propagation, et donc, les seuls à pouvoir orbiter à une telle altitude.

Subrahmanyan Chandrasekhar a déclaré que «Les seuls éléments de construction de trous noirs sont nos concepts de base de l'espace et du temps. Ils sont ainsi, presque par définition, les objets macroscopiques les plus parfaits de l'univers. Et, puisque la théorie de la relativité générale nous fournit une famille de solutions dépendant uniquement de deux paramètres pour leur description, ils sont aussi les objets les plus simples de l'univers».[5]

En effet, malgré leur complexité, la structure des trous noirs elle, ne dépend que de trois paramètres : Il s'agit des paramètres qui décrivent les interactions à longue portée – la gravitation et l'électromagnétisme – à savoir la masse M, la charge électrique Q et le moment cinétique J. Quant aux autres paramètres, ce sont des conséquences de ces trois là. C'est le théorème d'unicité, plus connu sous le nom de théorème de calvitie – après que John Wheller ai déclaré « Un trou noir n'a pas de cheveux »[12] – qui stipule q'un trou noir est entièrement décrit par ces trois paramètres et ceux, quel que soit son mode de formation ou la nature de la matière dont il se forme.

Un trou noir possède un champ gravitationnel proportionnel à sa masse M, celle ci est donc toujours strictement positive $M > 0$. La combinaison des deux paramètres restants, la charge électrique Q – responsable du champ électrique, – ainsi que le moment cinétique J – responsable de la rotation, – permettent de définir théoriquement quatre sortes de trous noirs et qui sont :

Les trous noirs de Schwarzschild : Lorsque la charge électrique Q et le moment cinétique J sont nuls, on parle de trous noirs de Schwarzschild. Première solution aux équations d'Einstein, ce sont les trous noirs les plus simples : sphériques, statiques, non chargés et uniquement caractérisés par leurs masses M. Ce sont des objets idéaux et bien qu'ils soient théoriquement possibles, ils n'existent probablement pas dans la nature.

D'un point de vue topologique, la singularité gravitationnelle est une singularité ponctuelle c'est-à-dire qu'à la formation du trou noir, la matière s'est effondrée sur elle-même jusqu'à ne plus être qu'un point de volume nul et de densité infinie. Par ailleurs cette singularité est dite spatiale : lorsqu'un objet franchit l'horizon des événements, il y a permutation de l'espace et du temps ; ce qui était devant l'objet devient son futur,et par conséquent, cet objet se précipite inévitablement vers la singularité.

Les trous noirs de Reissner-Nordström : Lorsque la charge électrique Q est non nulle et le moment cinétique J est nul, on parle de trous noirs de Reissner-Nordström. La principale différence avec les trous noirs de Schwarzschild est qu'ils possèdent une charge électrique.

Là encore, ce type d'objet est très improbable. En effet, s'ils existent, ces trous noirs résulteraient de l'effondrement d'étoiles chargées électriquement, or ; il a été montré que même s'ils sont créés, leurs charges électriques se dissiperaient toujours et rapidement.

En ce qui concerne la topologie de l'espace, celle ci est différente de celle des trous noirs de Schwarzschild. En effet, en plus de l'horizon des événements habituel et propre à tous les types de trous noirs ; un deuxième apparaît. On parle alors d'un horizon extérieur – connu, sa distance à la singularité est le rayon de Schwarzschild R_s – , et d'un horizon intérieur, au dessus de la singularité, aussi appelé « horizon de Cauchy ». De ce fait, la permutation de l'espace et du temps due à la traversée de l'horizon a lieux deux fois et donc, l'espace et le temps reprennent leur propriété après avoir traversé l'horizon de Cauchy. Il devient alors possible d'éviter la singularité ; celle-ci est dite temporelle.

Une autre propriété intéressante des trous noirs de Reissner-Nordström est que, plus ils sont chargés, plus les deux horizons qui les caractérisent se rapprochent. Par conséquent, si la charge est importante, les deux horizons disparaissent, et seule reste la singularité « nue ».

Seulement, la communauté scientifique reste sceptique quant à l'existence de ces singularités nues, et privilégie l'hypothèse selon laquelle l'univers s'appliquerait une autocensure, connu sous le nom du principe de censure cosmique.

Les trous noirs de Kerr : Lorsque la charge électrique Q est nulle et le moment cinétique J non nul, on parle de trous noirs de Kerr. Découverts en 1963 par Roy Kerr, ce type de trou noir est à ce jour le modèle le plus réaliste et probablement le seul qui existe réellement dans la nature. En effet, Kerr a démontré qu'une étoile en rotation conserve son moment cinétique lorsqu'elle s'effondre, résultat, le trou noir engendré est lui aussi en rotation ; et puisque toutes les étoiles sont en rotation, les trous noirs sont vraisemblablement tous des trous noirs de Kerr. D'un point de vue topologique, la rotation du trou noir induit une rotation de l'espace-temps lui-même. Ce mouvement rotatif de l'espace-temps a pour conséquence l'apparition d'une seconde sphère de photons (avec une mer de photons qui orbitent entre les deux). En effet, du fait de son moment cinétique, la vitesse de satellisation des photons n'est pas constante, elle est moins élevée dans le sens de rotation du trou noir que dans le sens inverse. Par conséquent La sphère extérieure est contrarotative quant à la sphère intérieure – plus proche de la singularité – , elle est corotative. Plus la vitesse de rotation du trou noir est grande, plus les

deux sphères de photons sont éloignées l'une de l'autre ; même si elles se confondent aux pôles. Cela est possible car dans la géométrie de Kerr, ce que l'on appelle sphères sont en fait des ellipsoïdes. Une autre singularité des trous noirs de Kerr est l'ergosphère : il s'agit de la zone entre la limite statique – limite en-deçà de laquelle rien, pas même la lumière, ne peut rester immobile – et l'horizon extérieur. Dans les trous noirs de Schwarzschild ou ceux de Reissner-Nordström, la limite statique et l'horizon extérieur se confondent ; dans ceux de Kerr ils se rejoignent aux pôles. Aussi, ce type de trou noir possède lui aussi deux horizons, identiques à ceux d'un trou noir de Reissner-Nordström, avec une singularité temporelle, conséquence d'une double permutation de l'espace et du temps. En ce qui concerne la singularité, elle est annulaire et est répulsive si on l'approche autrement que par son équateur. Par conséquent, il devient théoriquement possible de sortir du trou noir. Ce qui se passe ensuite nous est totalement inconnu, mais selon certains modèles, un objet qui quitterait ce trou noir en traversant la singularité, se retrouverait dans un espace négatif ou un autre univers ; le passage d'univers en univers serait alors possible. Selon d'autres modèles, notre univers est en fait replié sur lui-même et les trous noirs ne font que propager la matière à d'autres parties de ce même espace temps... Entre les deux horizons la lumière qui se trouvait décalée vers le rouge avant de pénétrer l'horizon extérieur, va se retrouver décalée vers le bleu, conséquence d'un transfert inverse de l'énergie des photons en énergie gravitationnelle.

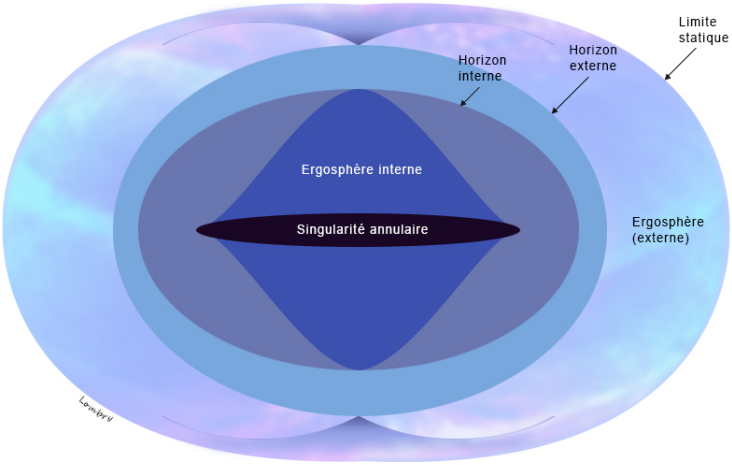


FIGURE 1.1: *Topologie d'un trou noir de Kerr : coupe en perspective dans l'espace euclidien de Kerr-Schild.*

Les trous noirs de Kerr-Newman : Lorsque la charge électrique Q et le moment cinétique J sont non nuls, on parle de trou noir de Kerr-Newman. La seule différence avec les trous noirs de Kerr est qu'ils sont électriquement chargés. Par ailleurs, l'existence des trous noirs de Kerr-Newman dans la nature est très peu probable, et puisque c'est aussi le cas pour ceux de Schwarzschild et ceux de Reissner-Nordström ; cela nous mène à penser que tous les trous noirs sont des trous noir de Kerr (non sphériques, en rotation et non chargés).

1.4 Mécanismes de formation

John Michell et Pierre-Simon de Laplace prédirent l'existence des trous noirs avant tout le monde, l'un comme l'autre pensaient que la lumière provenant des étoiles les plus massives de l'univers ne peut pas nous parvenir ; de ce fait ces étoiles sont invisibles.

Là où Michell et Laplace se trompèrent, est la raison pour laquelle la lumière ne peut s'échapper : cela n'est pas due à la masse de l'étoile mais à sa densité. En effet, en théorie, si assez de matière peut être compactée dans une région de l'espace-temps, celle ci forme un trou noir.

Pourtant, en pratique, l'effondrement total d'une étoile n'a lieu que lorsque cet astre dépasse une certaine masse critique M_c, et à partir de laquelle les forces de pression ne sont plus suffisantes pour contrecarrer la force gravitationnelle. Cette masse critique est liée à l'origine de l'astre et sera responsable de son évolution ; cela nous a amené à classer les trous noirs en fonction de leur masse.

On distingue aujourd'hui trois types de trous noirs et on suppose l'existence de deux autres.

Les trous noirs stellaires : Les trous noirs stellaires sont issus d'étoiles possédant un noyau de masse centrale supérieure à la limite d'Oppenheimer-Volkoff et qui est d'environ $3M_{\odot}$. Initialement, ces étoiles sont bien plus massives : environ $10M_{\odot}$ et plus . Diminuées par de forts vents stellaires , leur explosion finale sous forme de supernova conduit à la formation de trous noirs, lorsque la gravité l'emporte sur les autres forces.

Observés dans les binaires X – système formé d'une étoile « normale » qui orbite autour d'une étoile à neutrons ou d'un trou noir – et dans les microquasars – étoile binaire contenant une étoile à neutrons ou un trou noir –; il existerait plus de 100 millions de trous noirs dits « stellaires » dans la Voie Lactée : c'est le type de trous noirs le plus abondant.

Malgré cela, et du fait de leur petite taille (seulement quelques kilomètres), ils restent difficilement observables.

A ce jour, on a localisé une vingtaine de trous noirs stellaires potentiels avec notamment :

Cygnus X-1 : Il s'agit d'un système binaire constitué d'un trou noir en rotation et d'une étoile géante. C'est aussi le premier candidat à avoir été identifié comme étant un trou noir.

XTE J1819-254 : C'est une binaire X composé d'une étoile bleue massive et d'un trou noir de $7.1M_{\odot}$ qui lui arrache une partie de sa matière en émettant un fort rayonnement X. Situé dans la constellation du Sagittaire à environ 1600 années-lumière, il s'agit du trou noir stellaire le plus proche qu'on ait localisé.

GRS 1915+105 (aussi appelé V1487 Aquilae ou Nova Aquilae 1992) : C'est un microquasar composé d'une étoile bleue massive et d'un trou noir stellaire de $14M_{\odot}$. Situé dans la Voie Lactée, et plus exactement dans la constellation de l'Aigle, il s'agit du premier objet galactique où des jets superluminiques furent observés.

Les trous noirs supermassifs : Situés aux cœurs des galaxies, les trous noirs supermassifs ont, comme leur nom l'indique, une masse très élevée, de l'ordre de quelques millions à quelques milliards de masses solaires. Leur présence provoque parfois l'apparition de jets et de rayonnements X. Quant à leur masse, elle est à l'origine de déformations importantes de l'espace-temps et qui ne peuvent être expliquées que par la présence d'un trou noir.

Plus un trou noir est massif, plus son rayon de Schwarzschild est grand et moins sa densité est grande. Par ailleurs, la singularité centrale est éloignée de l'horizon des événements et par conséquent, les forces des marées sont négligeables.

Certains d'entre eux sont dépourvus de disque d'accrétion, lorsque leur masse dépasse une certaine masse limite, la masse de Hills, et qui d'environ 300 millions de $M_{\odot}$.

En ce qui concerne leur formation, deux hypothèses se distinguent des autres.

La première stipule qu'il s'agit en fait de trous noirs d'origine stellaire dont l'effondrement a eu lieu il y a plusieurs milliards d'années. Au cours de ces années, ces trous noirs ont accrété suffisamment de matière pour atteindre les masses que nous leur connaissons.

La deuxième propose que la formation de ces trous noirs a commencé avec l'effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz et a eu lieu avant même la formation des étoiles.

Ces hypothèses sont à ce jour source de débats et aucune ne se distingue des autres. La première en particulier, présente des incohérences avec l'âge de l'univers.

Parmi les trous noirs supermassifs connus à ce jour on distingue :

Sagittarius A* : Situé au centre de la Voie Lactée, dans la constellation du Sagittaire; c'est un trou noir supermassif d'environ 4 millions de $M_{\odot}$ et une source intense d'ondes radio.

M87* : Situé à environ 50 millions d'années-lumière de la Terre, au centre de la galaxie supergéante M87 ; c'est un trou noir 6.8 milliard de fois plus massif que le soleil. Il y a quelques mois à peine, le 10 avril 2019, il fut le 1er trou noir dont l'image a été reconstitué par un réseau géant de télescopes l'Event Horizon Telescope (EHT).

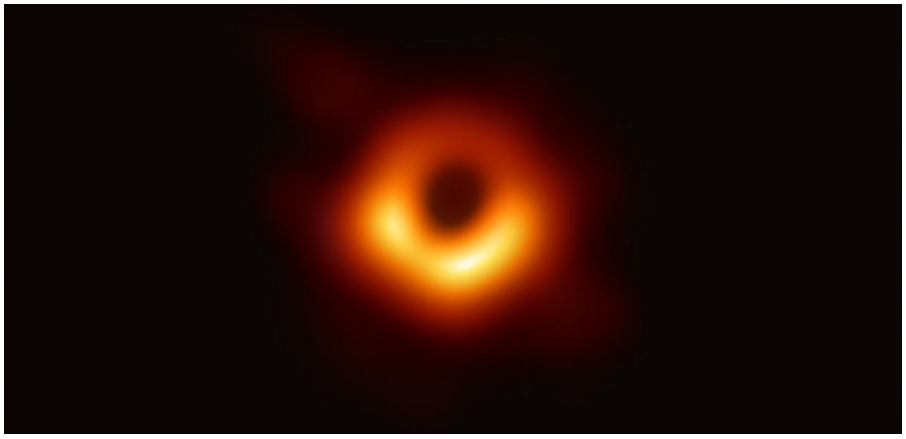


FIGURE 1.2: *Image du trou noir supermassif de la galaxie M87 dévoilée par la collaboration EHT le 10 avril 2019.*

TON 618 : Situé à 10,4 milliards d'années-lumière de la terre, dans la constellation des Chiens de chasse ; il s'agit d'un quasar hyper-lumineux. Il contient le trou noir le plus massif et le plus grand jamais observé, avec une masse de plus de 66 milliards de $M_\odot$.

Les trous noirs intermédiaires : Il s'agit de trous noirs dont la masse, comme leur nom l'indique ; se situe entre la masse des trous noirs stellaires et celles des trous noirs supermassifs, entre 100 et 10 000 $M_\odot$.

Déjà pensée à la fin des année 1970, l'existence des trous noirs de masse intermédiaire n'a été confirmée que récemment, avec l'observation de sources de rayons X ultra-lumineuses (ULX) dans le cœur des amas globulaires. En effet, la quantité de rayons X étant trop importante pour être émise de trous noirs d'origine stellaire mais pas assez pour être issues de trous noirs supermassifs ; elle ne peut être expliquée que par la présence de trous noirs dont la masse est intermédiaire.

En ce qui concerne leur formation, l'effondrement d'étoiles stellaires ne peut engendrer des trous noirs aussi massifs. Aussi, ils résultent de l'accrétion d'objets massifs aux centre des amas stellaires.

Une autre possibilité serait que ces trous noirs résultent de l'effondrement d'étoiles très massives (de l'ordre de milliers de $M_\odot$), qui se seraient formées après le big bang. Ces astres, hypothétiques pour le moment, portent le nom d'étoiles de population III, et seraient constitués d'éléments légers uniquement (l'hydrogène ou l'hélium).

Parmi les candidats potentiels au titre de trou noir intermédiaire on retrouve notamment :

HLX-1 : Situé à 290 millions d'années-lumière de la Terre, dans la galaxie ESO 243-49 ; c'est un trou noir intermédiaire qui est 500 fois plus massif que le soleil. Du fait de la quantité importante de rayons X émise, il est, à ce jour, considéré comme étant le candidat le plus solide de cette catégorie de trous noirs.

M82 X-1 : Il s'agit d'une source X ultralumineuse située dans la galaxie M82 (aussi appelée galaxie du Cigare), et plus exactement dans l'amas globulaire Oméga Centaure. Bien que cela reste à confirmer, cette source ultralumineuse émerge probablement d'un trou noir intermédiaire d'une masse d'environ 400 $M_\odot$ avec une étoile supergéante rouge qui orbite autour de lui.

En plus des trois classes de trous noirs que nous connaissant – stellaires, supermassifs, intermédiaires –, il existe en théorie d'autres types de trous noirs. Et si leur existence n'est, à ce jour, pas confirmée ; elle n'en reste pas moins plausible.

Parmi les modèles hypothétiques de trous noirs les plus solides, on retiendra :

Les trous noirs primordiaux : Les trous noirs primordiaux aussi appelés micro trous noirs ou trous noirs quantiques sont des trous noirs hypothétiques pour le moment, qui seraient nés durant la phase primordiale de l'univers.

Proposé dans les années 1970 par Stephen Hawking et Bernard Carr, ce modèle de trous noirs est basée sur la théorie selon laquelle , dans sa phase primordiale, l'univers était si dense et si chaud, que de simples fluctuations provoquaient des effondrements gravitationnels très rapides.

Puis, avec l'expansion de l'univers, ces régions à hautes densités furent séparées et les trous noirs primordiaux furent dispersés. Seulement, s'ils existent, ils sont supposés être restés stables et devraient encore l'être aujourd'hui. Pourtant, à ce jour, aucun candidat au titre de trou noir primordial n'a été proposé et ceux ; alors même qu'ils sont supposés émettre de forts rayonnements gamma.

Mais alors même que leur existence reste à confirmer, certaines études stipulent qu'il serait possible de créer ces mini-trous dans des accélérateurs de particules, comme par exemple le LHC. A défaut de les observer, cette approche pourrait être une bonne alternative et un premier pas vers la compréhension du fonctionnement de ces trous noirs.

Les trous noirs virtuels : Il s'agit de trous noirs nés de fluctuations quantiques de l'espace-temps. Stephen Hawking qui a imaginé ce concept, a obtenu à partir des équations de la relativité générale, une autre forme du principe d'indétermination d'Heisenberg. Cette nouvelle relation décrit les fluctuations quantiques du champ gravitationnel à l'échelle de Planck, et montre qu'un trou noir virtuel, peut temporairement apparaître à partir de ces fluctuations dans le vide. Cette nouvelle expression du principe d'incertitude d'Heisenberg est la suivante :

$$\boxed{\Delta R_\mu \cdot \Delta x_\mu > \ell_p^2 = \frac{\hbar G}{c^3}} \tag{1.15}$$

avec :

R_μ : le rayon de courbure local de l'espace-temps ;
x_μ : la coordonnée de la courbure ;
ℓ_p : la longueur de Planck ;
$\hbar$: la constante réduite de Planck ;
G : la constante gravitationnelle ;
c : la vitesse de la lumière dans le vide.

De tels trous noirs posséderaient en théorie une masse de l'ordre de la masse de Planck m_p, une durée de vie de l'ordre du temps de Planck t_p et une densité de un par volume de Planck.

Toujours selon un processus découvert par Hawking, plus un trou noir est dense plus il s'évapore rapidement ; c'est le processus du rayonnement de Hawking. C'est pourquoi, les trous noirs virtuels, s'évaporent quasi-instantanément.

Enfin, s'ils existent, de tels trous noirs violent la loi de conservation du nombre baryonique et compliquent davantage le paradoxe de l'information.

Chapitre 2

Observation et détection des trous noirs

« Ce qui est visible ouvre nos regards sur l'invisible. »
– Anaxagore.

2.1 Introduction

De par leur définition même, les trous noirs sont invisibles. En effet comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 1, les trous noirs n'émettent strictement aucun rayonnement, ce qui rend toute observation optique impossible. Dans ces conditions, on peut se demander ce qui poussent les scientifiques à être certains de leur existence et surtout comment arrivent-ils à les détecter ? La réponse est simple : ils cherchent des phénomènes astronomiques qui ne peuvent être expliqués que par la présence d'un trou noir. Car si les trous noirs sont invisibles, les effets gravitationnels qu'ils engendrent sur les astres qui les entourent ne passent pas inaperçus.

2.2 Méthodes de détection

Dans le chapitre qui suit, nous allons expliquer comment détecter les trous noirs, ou en d'autres termes, comment voir l'invisible. En effet au cours des années, plusieurs méthodes de détection indirecte ont été développées, avec notamment :

2.2.1 Méthode des lentilles gravitationnelles

Comme expliqué par la relativité générale, les rayons lumineux ne suivent pas des lignes droites mais des géodésiques. En effet, la masse provoque des déformations de l'espace-temps non négligeables. Ainsi, si un corps massif se situe entre un observateur sur terre et une source lumineuse lointaine, les rayons lumineux issus de la source vont être dévié par le corps massif. Cette déviation de la lumière est d'autant plus grande que la masse est importante.
Ce phénomène a pour nom lentille gravitationnelle ou mirage gravitationnel car l'objet responsable de la déflexion de la lumière agit comme une loupe.
Lorsque l'objet en question est un trou noir, la déviation provoque des dédoublements de l'image de la source et celle ci paraît plus brillante qu'elle ne l'est réellement. Ces dédoublements de l'image sont des mirages gravitationnels et forment un arc de rayons lumineux qu'on appelle arc d'Einstein dans le cas ou il est parfaitement circulaire autour de la source.
Plusieurs candidats potentiels au titre de trous noirs ont été découverts à l'aide de cette méthode.

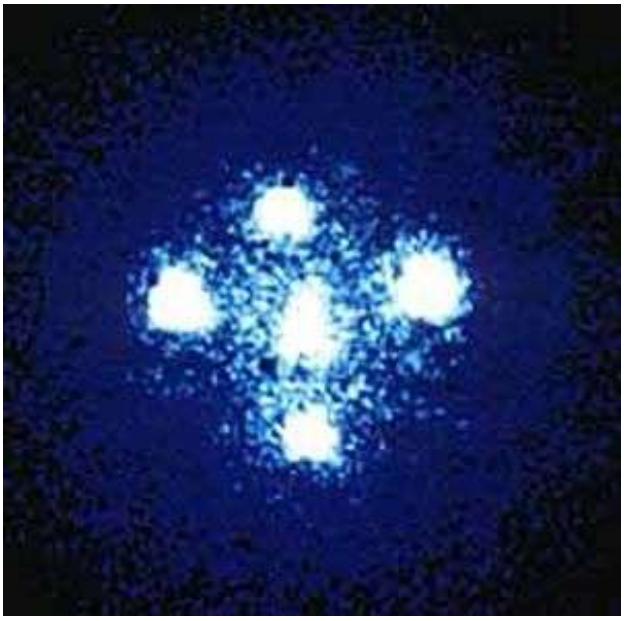


FIGURE 2.1: *La Croix d'Einstein, vue par le télescope spatial Hubble. Crédit Esa.*

L'un des exemples les plus connus et celui de la Croix d'Einstein présenté dans la figure 2.1, il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mirage gravitationnel sous forme d'une croix et qui est formé d'un quasar situé à 8 milliards d'années-lumière de la Terre bien que l'image qui nous en parvient ait l'air d'être dix fois moins éloignée.

En conclusion, si lors de l'observation d'une galaxie celle-ci semble anormalement grande, il y a de fortes chances pour qu'il y ai un trou noir qui dévie les rayons lumineux. Une autre indice suggérant la présence d'un trou noir est l'observation de plusieurs arcs lumineux. Dans les deux cas, des observations plus approfondies doivent être menées avant de confirmer ou d'infirmer la présence du trou noir.

Cependant cette méthode à elle seule n'est pas suffisante pour l'étude et la détection des trous noirs : en effet, la condition nécessaire pour que le phénomène de mirage gravitationnel ait lieu, à savoir l'alignement entre la source lumineuse et le trou noir ; est assez rare et ne permet donc de détecter que quelques cas de trous noirs isolés.

2.2.2 Repérage du disque d'accrétion

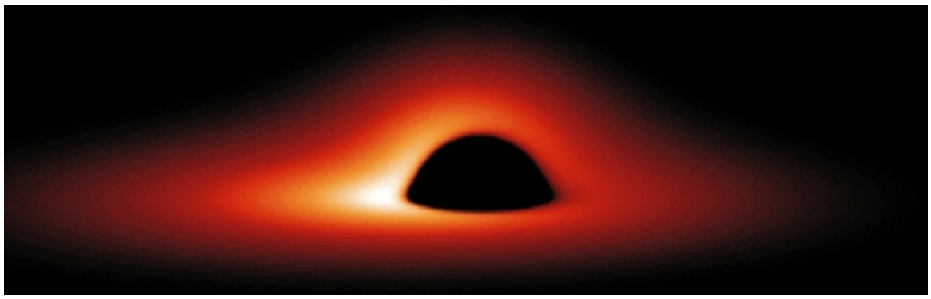


FIGURE 2.2: *Simulation d'un trou noir réalisée par l'astronome Chris Reynolds de l'Université du Maryland et du GFSC.*

Une autre méthode pour détecter un trou noir célibataire consiste à repérer son disque d'accrétion. En effet, comme nous l'avons expliqué précédemment, les trous noirs ne peuvent ni émettre, ni diffuser la lumière ; pourtant, ils sont responsables de très importantes libérations d'énergie.

Cette libération d'énergie vient de la matière qui orbite en spirales autour du trou noir. Constituée de nuages de gaz , de poussières interstellaires et de débris d'étoiles ; celle-ci forme ce qu'on appelle un disque d'accrétion et va être aspirée par le trou noir. En effet la masse de ce dernier déforme l'espace-temps de telle sorte que même les géodésiques des photons soient spirales et orientées vers la singularité, empêchant ainsi toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper.

En tentant de se soustraire à l'attraction gravitationnelle, le disque d'accrétion va être, par compression, violemment chauffé ($T \sim 10^9 K$), ce qui va causer des rayonnements X et parfois γ très intenses.

Notons aussi que cette libération d'énergie peut aussi avoir lieu lorsqu'un objet s'effondre à la surface d'une naine blanche, d'une étoile à neutrons ou d'un autre objet massif, seulement, l'intensité du phénomène dans le cas d'un trou noir est telle qu'il est possible de les différencier.

En conclusion, bien qu'il ne soit pas possible d'observer un trou noir, il est possible de le repérer avec des satellites spécialisés comme Chandra grâce à son disque d'accrétion, les importantes libérations d'énergie trahissant sa présence.

Cependant pour des trous noirs trop éloignés – à plus de quelques années lumière de distance – , il arrive que le phénomène d'accrétion de matière à lui seul ne suffise pas à la détection, et l'observation de phénomènes complémentaires dans l'environnement du trou noir sont alors nécessaires (comme par exemple l'observation de jets).

2.2.3 Les sursauts de rayons γ

Lors de l'explosion finale d'une étoile massive en supernova un trou noir d'origine stellaire se forme. Dans certains cas, un sursaut de rayons gamma (SRG) accompagne la formation du trou noir.

Découverts dès 1967, ces sursauts sont constitués de bouffées de photons de très hautes énergies qui ne durent, tout au plus, que quelques minutes, suivis par des émissions rémanentes de rayonnement dans toutes les fréquences et qui peuvent durer jusqu'à plusieurs mois.

Considéré comme étant le phénomène le plus énergétique après le Big Bang, le sursaut gamma s'accompagne de l'émission d'un faisceau étroit et symétrique de matière sous forme de deux cônes opposés. La forme particulière que prend alors la lumière ainsi que la force colossale qui s'en dégage le rendent facilement observable, et ceux, même à grande distance.

Ainsi, il est donc possible de détecter des trous noirs par l'observation des sursauts gamma. Seulement, du fait du caractère aléatoire et de la brièveté du phénomène, celle-ci peut s'avérer difficile.

2.2.4 Les jets de plasma

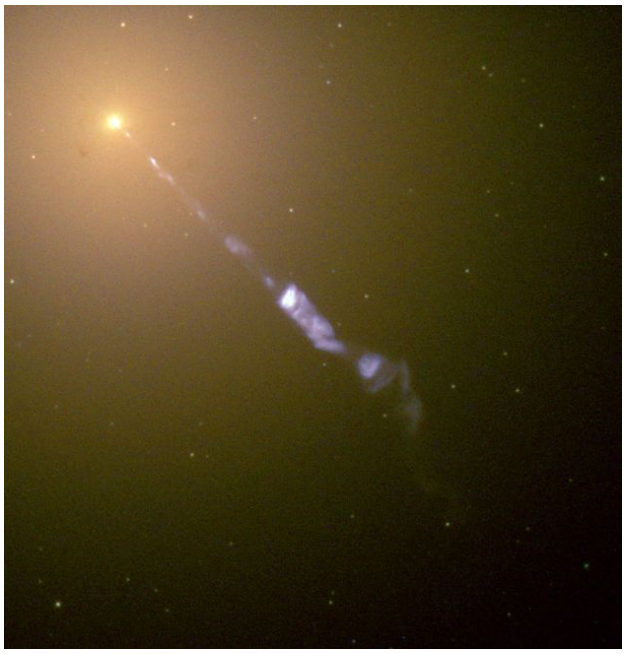


FIGURE 2.3: *Jet de plasma émis par le trou noir central de M87. Crédit d'image : NASA / The Hubble Heritage Team.*

Une autre méthode pour détecter les trous noirs consiste à repérer les jets de plasma. Principalement observés en ondes radio, ils sont très puissants et sont émis par les trous noirs supermassifs situés aux cœurs des galaxies mais aussi parfois par des trous noirs stellaires.

Effectivement, les interactions dynamiques à l'intérieur du disque d'accrétion vont générer un champ magnétique, et celui-ci va dévier une partie de la matière vers les pôles avant que celle-ci n'atteigne le rayon de Schwarzschild.

Il en résulte alors, deux jets très puissant de plasma émis le long de l'axe de rotation du trou noir, et dont les vitesses sont proches de la vitesse de la lumière d'où leur nom de jets relativistes.

Dans le chapitre 1, dans la partie traitant des trous noirs supermassifs (p 14), nous avions expliqué que deux hypothèses se distinguent pour expliquer la formation des trous noirs supermassifs : la première étant des trous noirs d'origine stellaire qui ont accrété de la matière pendant plusieurs milliards d'années, la seconde, est que la formation de ces trous noirs a eu lieu avant la formation des étoiles.

C'est l'observation des jets qui a permis de faire émerger cette deuxième hypothèse puisque les astrophysiciens pensent que c'est en émettant des jets que les trous noirs ont participé à la création des galaxies.

On pense également que la production de sursauts de rayons gamma est directement liée à la production des jets de plasma.

2.2.5 Le redshift gravitationnel

Un autre phénomène lumineux qui a lieu dans l'environnement proche des trous noirs est celui du décalage vers le rouge gravitationnel aussi nommé décalage d'Einstein.
Prédit par les équations de la relativité générale, ce phénomène est le résultat du ralentissement du temps qui a lieu à mesure que l'on s'approche du trou noir.
En effet, comme démontré par Einstein, l'écoulement du temps est d'autant plus long que l'espace-temps est courbé et donc, il est d'autant plus grand que le champ gravitationnel est intense. La dilatation du temps créée par la gravitation va alors entraîner un décalage du spectre d'émission vers les grandes longueurs d'ondes.
En conséquence, pour un observateur extérieur, l'horizon du trou noir apparaîtra comme étant bordé de rouge.
L'augmentation de la longueur d'onde λ est équivalente à une diminution de la fréquence ν ; sachant aussi que l'énergie d'un photon est proportionnelle à sa fréquence $E = h \cdot \nu$, on peut interpréter le redshift gravitationnel comme étant une perte d'énergie subie par le photon lorsqu'il tente de s'extraire au champ gravitationnel du trou noir.

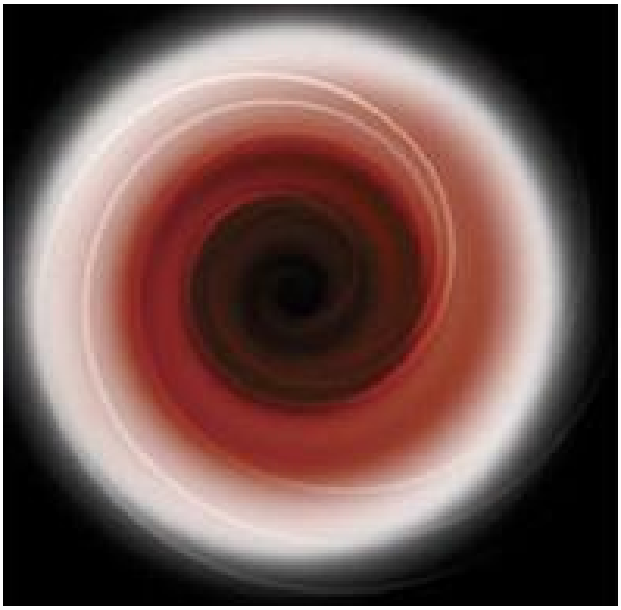


FIGURE 2.4: *Le décalage gravitationnel de la lumière donne l'impression que le trou noir est bordé de rouge. Crédit d'image : Nasa.*

En utilisant la solution de Schwarzschild des équations d'Einstein, et par analogie à l'effet Doppler relativiste, le redshift gravitationnel associé à un photon et provoqué par un objet de masse M sur une onde électromagnétique émise à une distance r de cet objet vaut :

$$\boxed{\frac{\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}} \tag{2.1}$$

2.2.6 L'accélération des étoiles environnantes

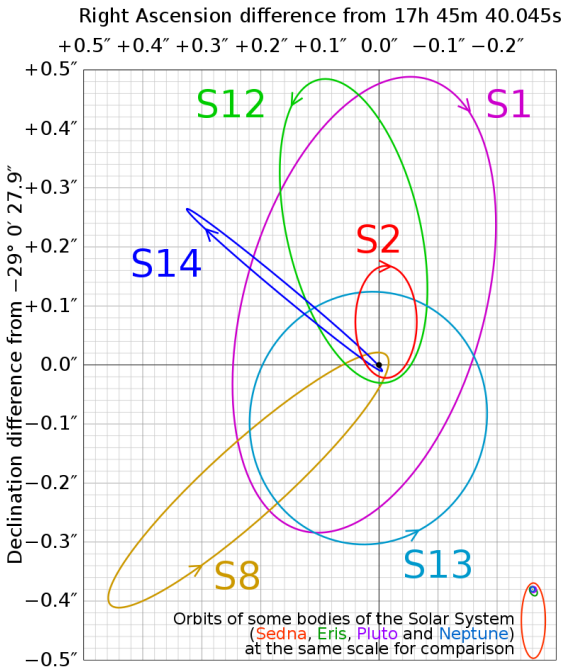


FIGURE 2.5: *Orbites des étoiles gravitant autour de notre trou noir galactique central. Crédit d'image : Wikipedia.*

Une autre méthode consiste à détecter les trous noirs grâce aux effets qu'ils provoquent sur les étoiles environnantes. Attirées par les trous noirs, ces étoiles vont augmenter leur vitesse de manière significative (à des vitesses proches de celle de la lumière) afin de compenser la force gravitationnelle et rester en orbite.

En calculant la vitesse de ces étoiles et des autres objets stellaires grâce à l'effet Doppler, il est donc possible, si celle-ci est anormalement élevée, de deviner l'existence d'un trou noir à proximité.

C'est d'ailleurs de cette manière, en suivant la trajectoire de plusieurs étoiles centrales de notre galaxie ; que les astrophysiciens ont confirmé l'existence d'un trou noir supermassif, Sagittarius A*, en son centre.

En effet, ces étoiles gravitent autour d'un centre d'attraction à des vitesses qui vont à plus de 1000 kilomètres par seconde. Par comparaison, le soleil et les autres planètes ne vont pas au-delà de 220 kilomètres par seconde ; cet écart important des vitesses suggère l'existence d'un trou noir qui serait responsable de l'accélération des astres.

C'est aussi ce phénomène d'accélération des étoiles qui a amené les scientifiques sur la piste de l'existence de trous noirs supermassifs aux centres de toutes les galaxies.

Si l'on s'intéresse au lois physiques décrivant l'accélération des vitesses des astres et permettant la détection des trous noirs, celle-ci se fonde sur une loi fondamentale déjà connue ; il s'agit de la forme newtonienne de la troisième loi de Kepler.

Cette loi permet entres autres, à partir de la vitesse d'un astre, de déduire la masse et la position de l'objet autour duquel il gravite. Son expression est donnée par :

$$\boxed{\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} \approx \frac{4\pi^2}{GM}} \qquad m \quad \textit{étant} \quad \textit{négligeable} \quad \textit{devant} \quad M; \tag{2.2}$$

où :

T : est la période de l'objet ;
a : est le demi grand axe de la trajectoire elliptique ;
G : est la constante gravitationnelle ;
m : est la masse de l'objet gravitant autour du trou noir ;
M : est la masse du trou noir.

Malheureusement, en pratique, ces calculs sont difficiles à réaliser et la mesure des décalages des raies spectrales est privilégiée.

2.2.7 Les systèmes binaires

Les étoiles vivent souvent en couple, elles orbitent autour d'un centre de gravité commun et forment un système qu'on appelle étoile binaire.

Lorsqu'une étoile a épuisé tout son carburant, et si elle est suffisamment massive, elle s'effondre en trou noir. L'explosion de l'étoile en supernova est d'une telle violence qu'elle peut, lors du procédé, détacher l'étoile compagnon du système. Toutefois, si l'étoile n'est pas expulsée, les deux forment un système composé d'un trou noir et d'une étoile qui orbite autour qu'on appelle binaire X.

Dans une binaire X, du fait de la compacité du trou noir, le centre de gravité est bien plus proche qu'il ne l'est dans le cas d'un système binaire ordinaire, formé de deux étoiles.

Aussi, le trou noir étant un compagnon "invisible", ce qui est observé est une étoile à priori normale et qui semble tourner autour d'un centre de gravitation. Ce constat à lui seul, n'est pas suffisant pour affirmer qu'il y a un trou noir et certaines observations complémentaires sont primordiales avant de confirmer qu'il s'agit bien d'une binaire X contenant un trou noir.

Effectivement, une binaire X est un système constitué d'une étoile normale orbitant autour d'une étoile effondrée mais celle-ci n'est pas forcement un trou noir, cela peut aussi être une étoile à neutrons ou une naine blanche.

Afin de distinguer entre les deux cas de figure – à savoir la présence d'un trou noir où l'inverse – , une estimation de la masse et de la période de rotation de l'étoile sœur est nécessaire.

Comme dans le cas d'un trou noir isolé, la détermination de la masse potentielle du trou noir et sa détection passent par plusieurs observations :

1.L'observation du disque d'accrétion : Ce phénomène est beaucoup plus intéressant dans le cas d'un système binaire que dans le cas d'un trou noir isolé. En effet si dans le cas d'un trou noir isolé la luminosité du phénomène n'est pas suffisante pour être observée lorsque celui-ci se situe à plus de quelques années lumière de distance, c'est différent lorsque le trou noir se trouve dans un système binaire. En effet, le trou noir va attirer son étoile "sœur" par sa force gravitationnelle et va aspirer les amas de gaz situé sur les couches externes de celle-ci. Ce transfert de masse va alimenter le disque d'accrétion et va s'accompagner d'émissions et de sursauts de rayons X intenses et suffisamment puissants pour être repéré à plusieurs années lumière de distance.

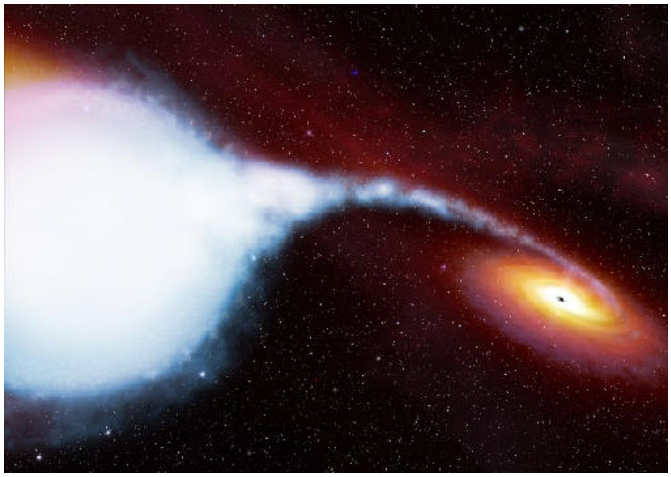


FIGURE 2.6: *Illustration montrant à gauche l'étoile bleue et à droite le trou noir avec son disque d'accrétion.*

2.L'effet Doppler : Après avoir mesuré et observé les fluctuations des rayons X émises par le disque d'accrétion, le spectre de l'étoile est utilisé afin de calculer de décalage d'Einstein et de déduire les masses de l'étoile et sa période de rotation.

Finalement, on peut estimer, en fonction de la période de rotation de l'étoile visible et de sa masse, la masse minimale M du compagnon invisible autour duquel elle tourne et qui est peut être un trou noir. Si celle-ci est supérieure à la limite d'Oppenheimer-Volkoff [1] et qui est d'environs $3.2M_{\odot}$, cela est normalement suffisant pour affirmer qu'il s'agit d'un trou noir.

Pourtant en pratique, les approximations utilisées pour déterminer la masse son trop inexactes et s'accompagnent d'une barre d'erreur. Il faut donc que la limite inférieure de la masse soit supérieure à $3.2M_{\odot}$ pour pouvoir affirmer avec certitude qu'il s'agit d'un trou noir.

Malgré ces limites, cette méthode est à ce jour la méthode la plus fiable et la plus efficace pour détecter les trous noirs. D'ailleurs, comme mentionné p.14 du chapitre 1, dans la partie traitant des trous noirs supermassifs ; le premier candidat au titre de trou noir découvert est une binaire X. Il s'agit de Cygnus X-1 : découvert au début des années 1970, il est composé d'une super géante bleue orbitant autour d'un trou noir dont la masse est estimé à $8.7 \pm 0.8M_{\odot}$. Vous trouverez plus bas, dans la figure 2.6, une représentation de ce système.

1. Cette limite correspond à la masse maximale que peut avoir une étoile à neutrons.

2.2.8 La détection d'ondes gravitationnelles

Lorsqu'un objet massif se déplace a travers l'espace-temps il engendre des ondulations similaires à des vagues à la surface de l'eau, ses ondulations sont appelées « ondes gravitationnelles ».

Prédit par Einstein en 1916 dans sa théorie de la relativité générale, la questions de leur existence a longtemps été discuté. Ce n'est qu'en 1957 que Pirani et Bondi apportèrent une contribution déterminante sur la nature physique des ondes gravitationnelles ouvrant ainsi la voix au développement expérimentale de nouvelles méthodes de détections.

La détection des trous noirs par ondes gravitationnelles est la méthode la plus précise et la plus récente, basé sur l'idée de Michelson, des interféromètres extrêmement sensibles à grandes échelles ont été construit, comme LIGO, L.I.S.A, Virgo.

C'est en 2015, que les deux interféromètres LIGO ont tout deux réussi a détecter des ondes gravitationnelles provoquées par la fusion de deux trous noirs stellaire à une distance de 1.3 milliard d'années lumière de la voie lactée, créant une révolution dans le domaine astrophysique.

Malgré la précision de cette méthode de détection, les interféromètres ne peuvent détecter à ce jour, que quelques ondes gravitationnelles par ans, ce qui n'est malheureusement pas suffisant pour pourvoir cataloguer tout les trous noirs.

Chapitre 3

Processus de création des trous noirs

« L'infini n'est pas un état stable, mais la croissance elle-même. »
– Aristote.

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les différents moyens pour détecter les trous noirs et nous sommes arrivés à la conclusion que ce sont des objets célestes optiquement invisibles et si compacts qu'ils empêchent toute information de nous parvenir.

Pour autant, il n'est pas impossible d'étudier ces monstres gravitationnels et il faut donc avoir recours à des moyens détournés, qui consistent à observer leur environnement proche.

De la même manière, si l'on veut comprendre les lois qui déterminent la physique des trous noirs, il nous est indispensable de nous familiariser avec certains processus fondamentaux de physique qui régissent la vie et la mort des étoiles.

Après tout, ce sont ces étoiles qui vont s'effondrer et donner naissance à des trous noirs, mais sous quelles conditions ? Et comment ? Notre soleil est il lui aussi destiné à se transformer en trou noir ?

Afin de pouvoir répondre à ces questions, nous allons revenir sur certains calculs historiques primordiaux qui ont marqué l'histoire des trous noirs, et nous allons montré que même lors de processus aussi complexes et mystérieux que ceux liés aux trous noirs, rien n'est dû au hasard.

3.2 L'accrétion

Jusqu'à présent nous avions évoqué le disque d'accrétion propre aux trous noirs (voir Chapitre 2 p. 17), revenons dans cette partie à une définition plus générale, avant de spécifier ensuite, le cas des trous noirs.

D'après le Petit Robert, le terme accrétion désigne un « processus d'agglomération d'éléments matériels ».

En astrophysique aussi, l'accrétion fait référence à une capture de matière par un corps céleste, sous l'effet de la gravitation. Ce corps céleste peut être soit une étoile normale, soit une planète ou alors une étoile effondrée – naine blanche, étoile à neutrons ou trou noir – .

Entraînée par la déformation de l'espace-temps due à la masse de cet objet, la matière est propulsée vers le centre de gravité de ce dernier.

Par l'effet de l'accrétion gravitationnelle, la matière va se rassembler selon le plan de l'équateur du système, et va former un disque qu'on nomme disque d'accrétion, et qui va tourner en spirale autour du centre du trou noir.

En tentant de se soustraire à l'attraction gravitationnelle, le disque, composé principalement de nuages de

gaz, de poussière capturée et de débris d'étoiles ; va perdre une partie de son énergie potentielle ainsi qu'une partie de son énergie cinétique sous forme de chaleur.

Cette perte d'énergie va se traduire par l'émission de rayonnements, dont l'intensité dépend du taux de matière accrétée et de la force gravitationnelle : plus l'objet sera compact et massif plus les rayons émis seront violents et lumineux.

Il arrive que ces rayonnements, lorsqu'ils sont plus puissants, soient éjectés sous forme de flots polaires . Ils sont équivalents aux jets dans le cas des trous noirs (voir 2.2.4 p. 19).

En ce qui concerne les trous noirs, ils émettent principalement des rayons X et γ. Dans le cas de trous noirs solitaires, il arrive que le taux de matière accrétée ne dégage pas une luminosité assez importante pour être détectée.

Dans un système binaire en revanche, les forces de marrée générées par le trou noir vont disloquer son étoile compagnon. Ce dernier va alors aspirer la matière, – gaz et débris de l'étoile – , et va l'utiliser pour alimenter son disque d'accrétion. Dans ce cas de figure, l'énergie libérée est en principe assez importante pour pouvoir être détectée par les satellites.

3.3 L'équilibre hydrostatique

Une étoile naît de l'effondrement gravitationnel d'un nuage vaste de gaz et de poussière.

Durant la phase de formation de l'étoile, l'énergie potentielle gravitationnelle est dominante et va compresser le nuage de gaz. Celui-ci va alors acquérir une énergie cinétique si élevée qu'il va s'ioniser.

En parallèle, l'énergie thermique de l'étoile en formation va augmenter, et va induire la génération de forces de pression opposées à la gravitation : résultat, la contraction est freinée.

Une fois que le cœur de la proto-étoile atteint une température d'environs 10 millions de degrés, la chaleur devient suffisante pour déclencher les réactions de fusion de l'hélium et l'étoile naît.

Dès lors, la pression produite est suffisante pour contrecarrer la force de la gravité et un équilibre s'installe.

L'étoile connaît alors une phase de stabilité qui durera tout le long de sa vie et qui ne sera rompue que lorsque celle-ci aura épuisé tout son hydrogène.

Cet état de stabilité est appelé équilibre hydrostatique. Il a lieu lorsque les forces agissant sur une étoile sont en équilibre et s'annulent. Ces deux forces sont inverses : la première, la pression [1], tend à faire exploser l'étoile, tandis que la deuxième, la gravitation, tend à la contracter afin qu'elle s'effondre sur elle-même.

Il est à noter que les étoiles en équilibre hydrostatique se situent sur la séquence principale du diagramme H-R [2]

Passons maintenant à l'expression de l'équilibre hydrostatique et de sa démonstration.

L'équation fondamentale de l'hydrostatique d'un fluide incompressible ($\rho = cst$) soumis uniquement à un champ de pesanteur s'exprime par :

$$\boxed{\frac{dP_h}{dz} = \pm\rho g = \pm G\frac{M\rho}{r^2}} \tag{3.1}$$

tel que :

1. La pression hydrostatique regroupe la pression due à la compression du gaz ainsi que la pression de radiation due aux réactions de fusion nucléaire
2. Il s'agit d'un graphique représentant la luminosité des étoiles en fonction de leur température effective. Ce type de diagramme permet d'étudier l'évolution stellaire.

P_h : est la pression hydrostatique ; ρ : est la masse volumique du fluide ;
z : est l'altitude (ou la profondeur) ; g : est l'accélération de la pesanteur .

démonstration :

Considérons un élément de volume fluide de forme parallélépipédique dans un référentiel galiléen. Le volume élémentaire du système s'écrit : $dV = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz$

La masse est donc :

$$dm = \rho \cdot dV = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz \tag{3.2}$$

Faisons maintenant le bilan des forces. Les forces qui s'exercent sur le système sont :

La force de pression :

$$d\vec{F} = dF_x \cdot \vec{e_x} + dF_y \cdot \vec{e_y} + dF_z \cdot \vec{e_z} \tag{3.3}$$

Intéressons nous d'abord à la composante suivant l'axe z de la force de pression, celle-ci s'écrit :

$$dF_z = P(z) \cdot dx \cdot dy - P(z + dz) \cdot dx \cdot dy \tag{3.4}$$

P(z) et P(z+dz) sont respectivement les pressions exercées par le fluide sur la face inférieure et la face supérieure du système. Puisqu'il s'agit d'un volume infinitésimal, on peut effectuer un développement au 1^{re} ordre de P(z+dz) :

$$P(z + dz) = P(z) + \left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)_z dz \tag{3.5}$$

La composante de la pression suivant l'axe vertical devient :

$$dF_z = -\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)_z \cdot dx \cdot dy \cdot dz = -\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)_z dV \tag{3.6}$$

Par analogie, les composantes de la pression suivant les axes x et y sont :

$$dF_x = -\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)_x dV \quad et \quad dF_y = -\left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)_y dV \tag{3.7}$$

$$\Longrightarrow \boxed{d\vec{F} = -\vec{\nabla} P dV} \tag{3.8}$$

Le poids :

$$\boxed{\vec{P} = dm \cdot \vec{g} = \rho \cdot dV \cdot \vec{g}} \tag{3.9}$$

A l'équilibre, d'après le principe fondamental de la statique (PFS), on a :

$$\sum_{i=0}^{n} \vec{F_i} = \vec{0} \quad \Longrightarrow \quad \vec{P} + \vec{F} = \vec{0} \tag{3.10}$$

$$\Longrightarrow \quad -\vec{\nabla} P dV + \rho \cdot dV \cdot \vec{g} = \vec{0} \tag{3.11}$$

Sachant que le champ de pesanteur est tel que $\vec{g} = g \cdot \vec{e_z}$, on a :

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial P}{\partial y} \\ \frac{\partial P}{\partial z} \end{pmatrix} = \rho \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix} \tag{3.12}$$

Par identifiction des coordonnées on obtient :

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \quad et \quad \frac{\partial P}{\partial z} = -\rho \cdot g \tag{3.13}$$

Par conséquent, P(x,y,z) = P(z). Finalement on retrouve l'équation fondamentale de l'hydrostatique :

$$\frac{dP}{dz} = -\rho \cdot g \tag{3.14}$$

Cette équation peut être réécrite sous la forme suivante :

$$\frac{dP_h}{dz} = \frac{-GM\rho}{r^2} \quad car \quad g = \frac{GM}{r^2} \quad (Loi \quad de \quad Newton) \tag{3.15}$$

3.4 La limite d'Eddington

Dans la partie précédente 3.2 p. 24, nous avions défini le phénomène d'accrétion. Comme nous l'avons évoqué, la masse d'un astre augmente lors du processus d'accrétion et il en résulte une émission d'énergie dont la luminosité est proportionnelle.

Nous avons aussi vu qu'une étoile est stable grâce à l'équilibre des forces entre la gravité et les forces de pression. Ces forces de pression ont deux origines : l'une est due au gaz de matière, la pression thermique ; et l'autre aux photons, c'est la pression de radiation. Dans ce qui suit, c'est à la seconde que nous allons nous intéresser.

Pour la majorité des étoiles – c-à-d de masse normale – , la pression de radiation est faible. Seulement dans le cas d'étoiles plus massives, celle-ci augmente, et la luminosité devient si grande qu'elle peut provoquer une perte de masse de l'astre et donc, provoquer sa rupture.

Seulement, avant d'atteindre ce point critique, la lumière stoppe l'accrétion de la matière par un processus d'autorégulation.

C'est Arthur S. Eddington qui a découvert ce phénomène et qui a établi la luminosité d'accrétion maximale que peut atteindre une étoile en fonction de sa masse.

Cette limite porte son nom et est appelée limite d'Eddington ; elle régit le comportement de la matière et stipule que le taux d'accrétion est limité par le rayonnement qu'il produit. Cette contrainte est aussi une limite sur la masse maximale des étoiles puisque la masse d'un astre est directement reliée à sa luminosité au travers du diagramme de Hertzsprung-Russell. Voilà pourquoi, dans le cas où une partie de l'enveloppe d'une étoile atteint cette limite, elle n'est plus liée à l'étoile.

On nomme les étoiles qui se séparent de leurs couches externes afin de conserver leur stabilité et de rester en dessous de la limite d'Eddington les variables lumineuses bleues ou LBV. On cite notament LBV 1806-20 et LBV η Carinae ; toute deux font partie des étoiles les plus massives repertoriées.

De manière plus concrète, la limite d'Eddington est la luminosité au-delà de laquelle la pression de radiation prend l'ascendant sur la gravité.

Expression :

Considérons le cas d'une étoile sphérique de rayon r, émettant de façon isotrope dans l'espace. La puissance ou luminosité des rayonnements vaut :

$$L = \int \vec{\Phi} \cdot d\vec{A} \tag{3.16}$$
$$= \Phi \cdot dA \tag{3.17}$$
$$= \Phi \cdot 4\pi \cdot r^2 \tag{3.18}$$

Le flux lumineux Φ reçu d'une l'étoile émettant une luminosité L à une distance r, est donné par :

$$\frac{L}{dA} = \frac{L}{4\pi r^2} \tag{3.19}$$

La luminosité ayant les dimensions d'une puissance (puisqu'il s'agit d'une puissance de rayonnement), on peut écrire son expression comme étant :

$$L = \frac{dE}{dt} \tag{3.20}$$

Si on remplace l'équation (3.20) dans l'équation (3.19) on obtient :

$$\Phi = \frac{dE}{dA \cdot dt} = \frac{L}{4\pi r^2} \tag{3.21}$$

Si l'on considère le fait que les particules sont relativistes, la relation qui lie l'énergie et l'impulsion relativistes est la suivante :

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \tag{3.22}$$

Sachant que le flux d'énergie radiative correspond à un flux d'ondes et donc de photons, l'équation (3.22) devient :

$$E = p \cdot c \qquad \Longrightarrow \qquad dE = dp \cdot c \tag{3.23}$$

On remplace cette expression dans l'équation (3.21) et on trouve :

$$\Phi = \frac{dpc}{dA \cdot dt} = \frac{L}{4\pi r^2} \tag{3.24}$$
$$\frac{1}{c}\Phi = \frac{dp}{dA \cdot dt} = \frac{L}{4\pi r^2 \cdot c} \tag{3.25}$$

Il s'agit de l'expression de la pression de radiation :

$$P_{rad} = \frac{L}{4\pi r^2 \cdot c} \tag{3.26}$$

Finalement on obtient l'expression de la force de radiation :

$$F_{rad} = k \cdot m \cdot P_{rad} \tag{3.27}$$
$$= \frac{\sigma_T}{m_p} \cdot m \cdot P_{rad} \tag{3.28}$$
$$\boxed{F_{rad} = \frac{\sigma_T}{m_p} \cdot \frac{L \cdot m}{4\pi r^2 \cdot c}} \tag{3.29}$$

où k est l'opacité de la matière stellaire, σ_T est la section efficace de la diffusion Thomson et m_p est la masse du proton.

D'après la loi de l'attraction universelle, la force gravitationnelle est décrite par :

$$\boxed{F_{grav} = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}} \tag{3.30}$$

À l'équilibre, la force de radiation et celle de gravitation sont égales et la luminosité de l'étoile atteint la limite d'Eddington $L = L_{\epsilon dd}$, on a ainsi :

$$F_{rad} = F_{grav} \tag{3.31}$$

$$\implies \quad \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{\sigma_T}{m_p} \cdot \frac{L_{\epsilon dd} \cdot m}{4\pi r^2 \cdot c} \tag{3.32}$$

Finalement, on retrouve l'expression de la luminosité d'Eddington :

$$\boxed{L_{\epsilon dd} = \frac{4\pi \cdot G \cdot M \cdot m_p \cdot c}{\sigma_T}} \tag{3.33}$$

On remarque que la luminosité d'Eddington dépend uniquement de la masse de l'astre rayonnant. En effet $\frac{4\pi \cdot G \cdot m_p \cdot c}{\sigma_T}$ est une constante, en remplaçant chaque grandeur par sa valeur, on peut donc retrouver la valeur de la luminosité d'Eddington en fonction de la masse uniquement. Dans notre cas, pour des raisons pratiques nous allons l'exprimer en fonction de la masse en unités de masse solaire ainsi que la luminosité du soleil :

$$L_{\epsilon dd} = \frac{4\pi \cdot G \cdot M \cdot m_p \cdot c}{\sigma_T} \tag{3.34}$$

$$\simeq 1.26 \cdot 10^{31} \cdot \frac{M}{M_\odot}[W] \tag{3.35}$$

$$= 1.26 \cdot 10^{38} \cdot \frac{M}{M_\odot}[erg/s] \tag{3.36}$$

Sachant que $L_\odot \simeq 3.828 \cdot 10^{33}[erg/s]$ on obtient :

$$\boxed{L_{\epsilon dd} = 3.3 \cdot 10^4 \cdot \frac{M}{M_\odot} \cdot L_\odot[erg/s]} \tag{3.37}$$

3.5 La limite de Chandrasekhar

Comment naissent et meurent les étoiles ?

Avant 1930, les astrophysiciens pensaient avoir tout compris de l'advenir des étoiles : de leur naissance, jusqu'à leur leur mort et leur effondrement gravitationnel en naine blanche... Ils en sont alors persuadés, cet état dégénéré de la matière, – à savoir la naine blanche – est le stade ultime de l'évolution stellaires.

C'est Chandrasekhar, un jeune physicien alors à peine âgé de 20 ans, qui va montrer qu'il n'en ai rien et qu'au delà d'une certaine masse limite l'effondrement des naines blanches reprend. En appliquant une théorie naissante et qui a depuis largement fait ces preuves - la relativité générale - à la physique stellaire, il a contribué d'une manière inestimable à notre compréhension de la structure interne des étoiles et il a posé les bases de l'astrophysique moderne.

Seulement, si aujourd'hui la théorie de Chandrasekhar fait l'unanimité, ce ne fut pas le cas lorsqu'en 1935 il présenta ses travaux lors d'une conférence à la Royal Astronomical Society.

Eddington en particulier, et qui était alors l'astrophysicien le plus influent de leur époque s'opposa vivement à Chandrasekha provoquant une controverse depuis devenue célèbre.

Pourtant Eddington le reconnaît, les calculs de Chandrasekhar sont exactes. Malgré tout, son rejet fut catégorique et sans appel car il est incapable d'accepter les conséquences qui découlent des travaux de Chandra.

Mais alors qu'elle sont ces résultats surprenants au points que même les plus imminents scientifiques ont du mal à les accepter ? Et qu'est ce qu'ils impliquent ? Dans cette partie nous allons brièvement revenir sur les majeurs contributions qui ont mené a ces travaux...

Comme nous l'avons vu dans la section précédente (3.4), c'est Eddington qui a établi les bases de la physique stellaire. Il a non seulement modélisé la structure interne des étoiles en expliquant que celles-ci puisent leur énergie des réactions de fusions nucléaires, mais il a aussi établi la relation qui lie la masse des astres à leur luminosité.

Effectivement, du fait de la dépendance entre la luminosité et la masse (en ce qui concerne les étoiles de la séquence principale) plus une étoile est massive plus vite elle consume ses réserves nucléaires, et plus vite elle s'effondre.

Autrement dit, au cours de leur évolution, les étoiles alternent entre phases de stabilité et d'équilibre temporaire dues aux réactions nucléaires qui ont lieu en leur sein, et phases de transitions et d'effondrement gravitationnel lorsqu'elles ont épuisé tout leur carburant.

Ce carburant, il s'agit tout d'abord d'hydrogène : une fois qu'il est épuisé, il y a rupture de l'équilibre hydrostatique et inévitablement l'étoile s'effondre.

De cette contraction gravitationnelle de la matière va résulter un accroissement simultané de la densité et de la température. La température surtout, lorsqu'elle est suffisamment élevée va être le moteur de nouvelles réactions nucléaires.

Il s'en suit alors une série de fusion nucléaires : de l'hélium au carbone et à l'azote jusqu'au fer, des éléments de plus en plus lourds vont être synthétisés à mesure que l'on s'approche du coeur de l'astre.

Ce phénomène porte le nom de nucléosynthèse stellaire et prend fin après la formation du fer. Dès lors plus aucune réaction nucléaire n'est en mesure de contrer la gravité.

Dans le même temps, l'étoile, dans une tentative de retrouver son équilibre, se sera séparée de son enveloppe externe ; celle-ci sera balayée par de forts vents stellaires et va doucement refroidir.

Mais alors, sans l'énergie produite par fusion nucléaire, l'étoile va t-elle s'effondrer indéfiniment ? C'est sans compter sur la pression de dégénérescence.

En effet, du fait de la compression intense de l'astre, les électrons se retrouvent confinés dans un espace si petit que leur propriétés quantiques apparaissent.

Conformément au principe d'exclusion de Pauli énoncé quelques temps plus tôt, les électrons ne peuvent pas se trouver au même endroit et avec une même énergie.

Du fait de la compacité de l'astre obtenu, et afin de respecter ce principe, les électrons vont adopter des vitesses différentes, donnant l'impression qu'il s'agit d'un objet se déplaçant de plus en plus vite. Ce décalage des vitesses va apparaître comme une force, une pression vers l'extérieur : il s'agit de la pression de dégénérescence des électrons (nous reviendrons sur cette force plus en détails en annexe).

Cette force est telle que, elle s'oppose à la gravité et permet de stopper l'effondrement de l'astre. À ce niveau, on ne parle plus d'étoile mais de nébuleuse planétaire. Cette dernière se compose d'un nuage de gaz dilaté et d'un astre très dense en son centre qu'on appelle naine blanche.

Puisqu'aucune réaction n'a lieu en son sein l'astre va se refroidir et adopter un état de stabilité ; on parle alors de la mort de l'étoile.

Les choses se compliquent après l'identification de la première naine blanche, Sirius B.
Sirius est une binaire X. Composée de Sirius A, une étoile blanche très lumineuse ($L = 10^{40} \cdot L_{\odot}$) et de Sirius B une naine blanche (de faible luminosité), les calculs faits à l'époque prédisent à Sirius B une masse comprise

entre 0.75 et $0.95M_\odot$ associée à une luminosité de $L = 2 \cdot 10^{-3} L_\odot$.

Jusque là rien de surprenant, le problème survient en 1915 lorsqu'Adams observe le spectre de Sirius B : son résultat est surprenant, celui ci est comparable à celui d'une étoile blanche. Se servant de la loi de Stefan-Boltzmann il calcule le rayon de cette naine blanche et obtient une valeur de R = 18800 km.

C'est environs 0.008 fois le rayon du soleil pour une masse presque égale, ce qui donne une densité avoisinant les 3 millions de tonnes au mètre cube !

Ces propriétés de la matière dégénérée sont en désaccord avec la relation masse-luminosité établie par Eddington. Pour un astre normal, plus il est gros, plus il est massif et lumineux. Dans le cas d'une naine blanche, plus la luminosité est faible, plus elle est petite et plus la masse associée est grande.

Eddington n'y crois pas, selon lui pour que de telles degrés de densités soient atteints, les naines blanches doivent être composées de plasma sans liaisons, et d'électrons. Seulement si c'est le cas, il affirme que rien n'empêche le confinement des électrons puisqu'il pense que c'est les orbites électroniques qu'y s'y oppose dans le cas d'atomes liés. Il se demande alors ce qu'il adviendra de l'étoile lorsque son apport en énergie subatomique sera défaillant. Comment un astre après avoir atteint un tel degrés de compression pourrait ils s'en sortir ?

Ce paradoxe il le reformule sous la forme d'un aphorisme resté célèbre en déclarant : 'a star will need energy to cool.'[6]

Ce paradoxe c'est William Alfred Fowler qui le résout en applicant la mécanique statistique de Fermi à la théorie des naines blanches. En ce basant sur les travaux d'Heisenberg et de Pauli, il trouva l'expression de la pression de dégénérescence, une force due au confinement des électrons et suffisante pour contrer la gravité.

Mais alors que le paradoxe semble résolu, Chandrasekhar effectue son doctorat sous la direction de Fowler et s'intéresse aux travaux de ce dernier ainsi qu'à ceux d'Eddington.
Très vite Chandra compris que que les travaux de Fowler sont bons mais incomplets.

Effectivement, en se basant sur les résultats de Sirius B, il remarqua que la densité d'un tel astre impliquait des vitesses avoisinant celle de la lumière or Fowler n'a pas pris en considération les effets relativistes associés à une telle particule.

Chandrasekhar en refaisant les calculs trouva un résultat différent de celui de son directeur. Lorsqu'on prend en considération les effets relativistes, la pression de dégénérescence des électrons ne peut plus supporter la gravité qu'en dessous d'une certaine limite sur la masse. Cette masse critique porte le nom de masse de Chandrasekhar et est d'environs $M_c = 1.44M_\odot$

Au-delà de cette limite la naine blanche est si dense que son rayon est de l'ordre de celui du rayon de Schwarzschild et la pression de dégénérescence ne peut plus empêcher l'effondrement. Notons toutefois que cet effondrement ne donne pas forcement lieu à un trou noir comme le pensait Chandra, mais il existe un autre état d'effondrement intermédiaire ; l'étoile à neutron.

Chapitre 4

Études de corrélation entre la masse et la distance des trous noirs

« Le but de la physique n'est pas découvrir ce qu'est la nature, mais ce que l'on peut dire sur elle. »
– Niels Bohr.

4.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous avons voulu étudier la corrélation entre la masse M et la distance d des trous noirs. En effet tout au long de cette étude nous avons remarqué qu'un paramètre en particulier était récurrent : il s'agit de la masse. Comme nous l'avons vu, il s'agit du paramètre principal caractérisant un trou noir ; c'est aussi le seul paramètre intrinsèque le caractérisant en dehors du moment cinétique J et de la charge Q. Son rôle est d'autant plus important ; en effet si J et Q peuvent prendre des valeurs nulles, sans masse il n'y a pas de champ gravitationnel et donc pas de trou noir.

Avant même d'aboutir à la formation d'un trou noir, c'est la masse qui détermine chaque stade d'évolution d'une étoile, de l'état de proto étoile à sa naissance jusqu'à sa mort ; toutes les étapes d'effondrement d'un astre et qui vont conduire à la formation d'un trou noir sont fixées par la masse ou plus exactement par une limite sur la masse (se référer au Chapitre 3 p. 24 pour plus de détails).

Ensemble avec la distance d, ces deux paramètres nous fournissent des informations essentielles concernant les différents trous noirs (à savoir leur classification, leur âge ...), mais aussi concernant la création de l'univers, du big bang à l'état que nous lui connaissons aujourd'hui.

Dans ce qui suit nous allons nous intéresser à la relation masse-distance et voir ce que cela nous suggère comme hypothèse sur les trous noirs.

4.2 La collecte de données

Dans un premier temps notre travail à consisté à collecter des données sur les trous noirs. En nous servant de bases de données déjà existantes, nous avons créé notre propre database. Celle-ci est, nous le pensons, plus complète puisqu'elle englobe les informations jointes des différentes bases de données disponibles.

Puis, la difficulté a été de déterminer quelles informations garder et quelles informations écarter. Nous l'avons fait en comparant les différentes données, et en ne gardant que les plus récentes et celles dont la fiabilité est certaine.

En ce qui concerne les informations collectées nous ne nous sommes pas limités aux données sur la masse et la distance, nous avons aussi inclus d'autres informations comme l'année de détection, la constellation, le redshift, la classification mais aussi tous les noms alternatifs associés à chaque trou noir.

Les noms alternatifs en particulier ont été utiles ; en effet, en faisant une cross identification de tous les trous noirs, nous avons pu nous assurer qu'aucun nom ne se répétait ou n'apparaissait plusieurs fois sous un autre

nom. Ce fut le cas de beaucoup de candidats.

Comme les sources étaient multiples, les informations associées à un même trou noirs l'étaient aussi. Parfois ces informations étaient complémentaires, mais très souvent les données différaient. Après tout, la difficulté de mesurer les distances et les masses des trous noirs est telle, que très souvent nous ne disposons pas de valeurs exactes mais plutôt d'intervalles.

Bien qu'il nous soit arrivé de collecter plusieurs valeurs pour un même paramètre et ceux, lorsque les deux valeurs semblaient cohérentes ; dans la plupart des cas un choix s'imposait à nous, ainsi nous n'avons gardé que la valeur qui nous semblait la plus exacte en nous basons sur la fiabilité de la source et la date de sa dernière mise à jour.

En ce qui concerne le paramètre de distance plusieurs colonnes lui ont été accordés. En effet, selon la méthode de détection, l'estimation de la distance est différente. Bien que les résultats soient du même ordre, nous avons préféré les garder séparément afin de pouvoir les différencier.

Ainsi, du fait de l'expansion de l'univers, les galaxies les plus lointaines ont des vitesses d'accélérations plus élevés que les galaxies proches et on peut utiliser la loi Hubble pour déterminer leur distance.

En ce qui concerne les galaxies les plus proches, l'expansion de l'univers est négligeable et la détermination de la distance ce fait alors en utilisant d'autres méthodes, comme par exemple celle de la lentille gravitationnelle.

Finalement, nous avons obtenus trois tableaux pour chaque type de trous noirs et nous avons réussi a cataloguer pas moins de 515 trous noirs tous type confondu.

Vous trouverez en annexe A p. (46) les données collectées.

4.2.1 Représentations graphiques

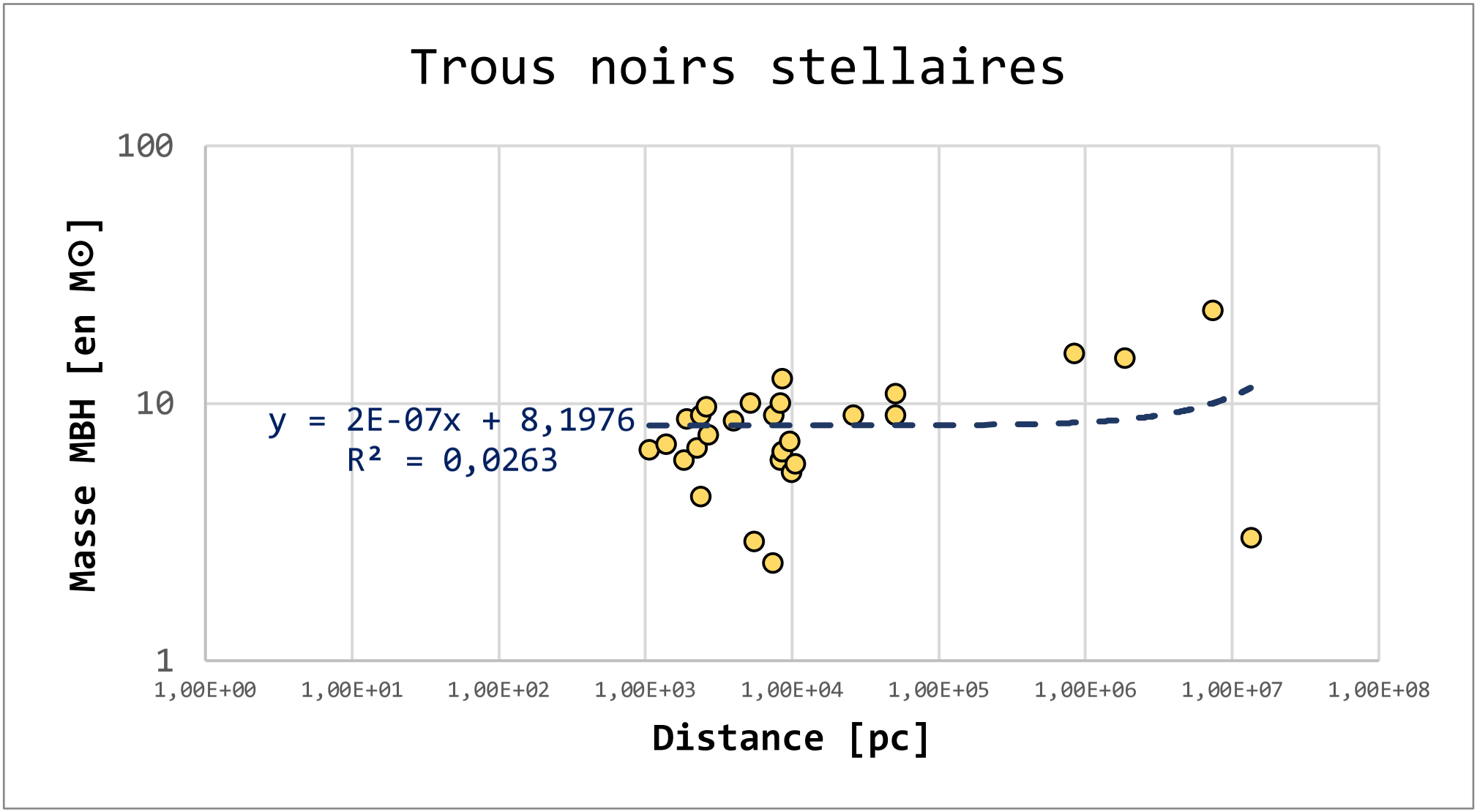
Une fois la collecte de données finie, nous sommes passés à leur représentation sous forme de graphe. Au début, nous pensions mettre toutes les données en un seul graphe (tout type confondu) cependant nous avons rapidement constaté un aplatissement de la courbe dû à la différence de grandeur entre les trous noirs les plus massifs et les moins denses et ceux, malgré l'emploi d'une échelle semi-logarithmique.

Finalement, nous avons choisi de faire un graphe pour chaque type de trous noirs pour mieux voir la relation masse- distance propre à chaque type.

L'approche que nous avons adoptée est celle de Bayes ; en effet, nous avons imposé à nos graphes une courbe à tendance linéaire afin d'obtenir leur coéfficient de corrélation.

Les trous noirs stellaires et intermédiaires étant approximativement du même ordre de grandeur avec des valeurs allant de [0-100] $M_\odot$ et [100-1000] $M_\odot$ respectivement, nous avons ajouté un graphe contenant les deux afin de compenser le manque de statistique.

Vous trouverez plus bas des échantillons des données fournies en annexe ainsi que les graphes associés à chaque type de trous noirs.

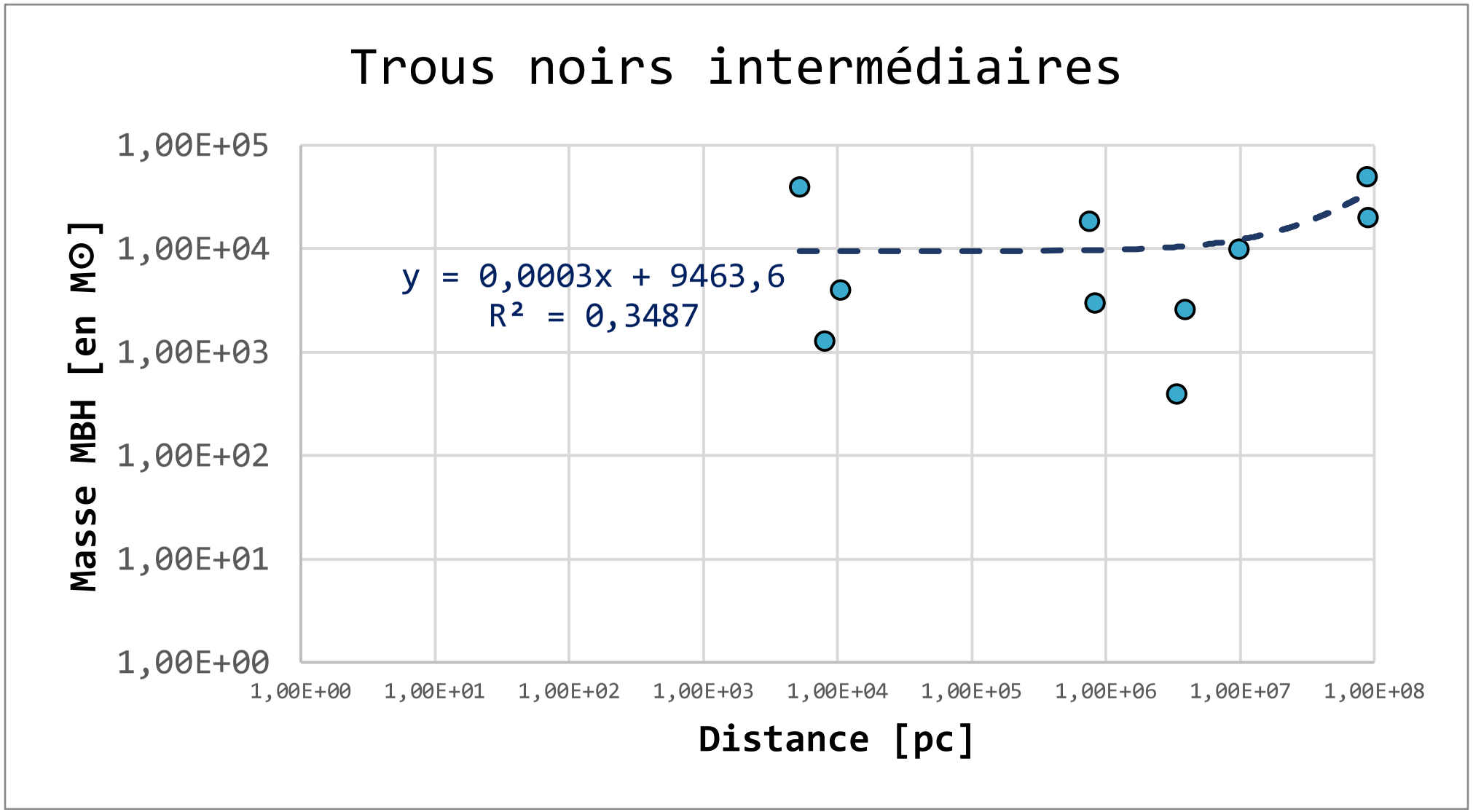

Trous noirs stellaires
100
10
1
Masse MBH [en M⊙]
y = 2E-07x + 8,1976
R² = 0,0263
1,00E+00
1,00E+01
1,00E+02
1,00E+03
1,00E+04
1,00E+05
1,00E+06
1,00E+07
1,00E+08
Distance [pc]

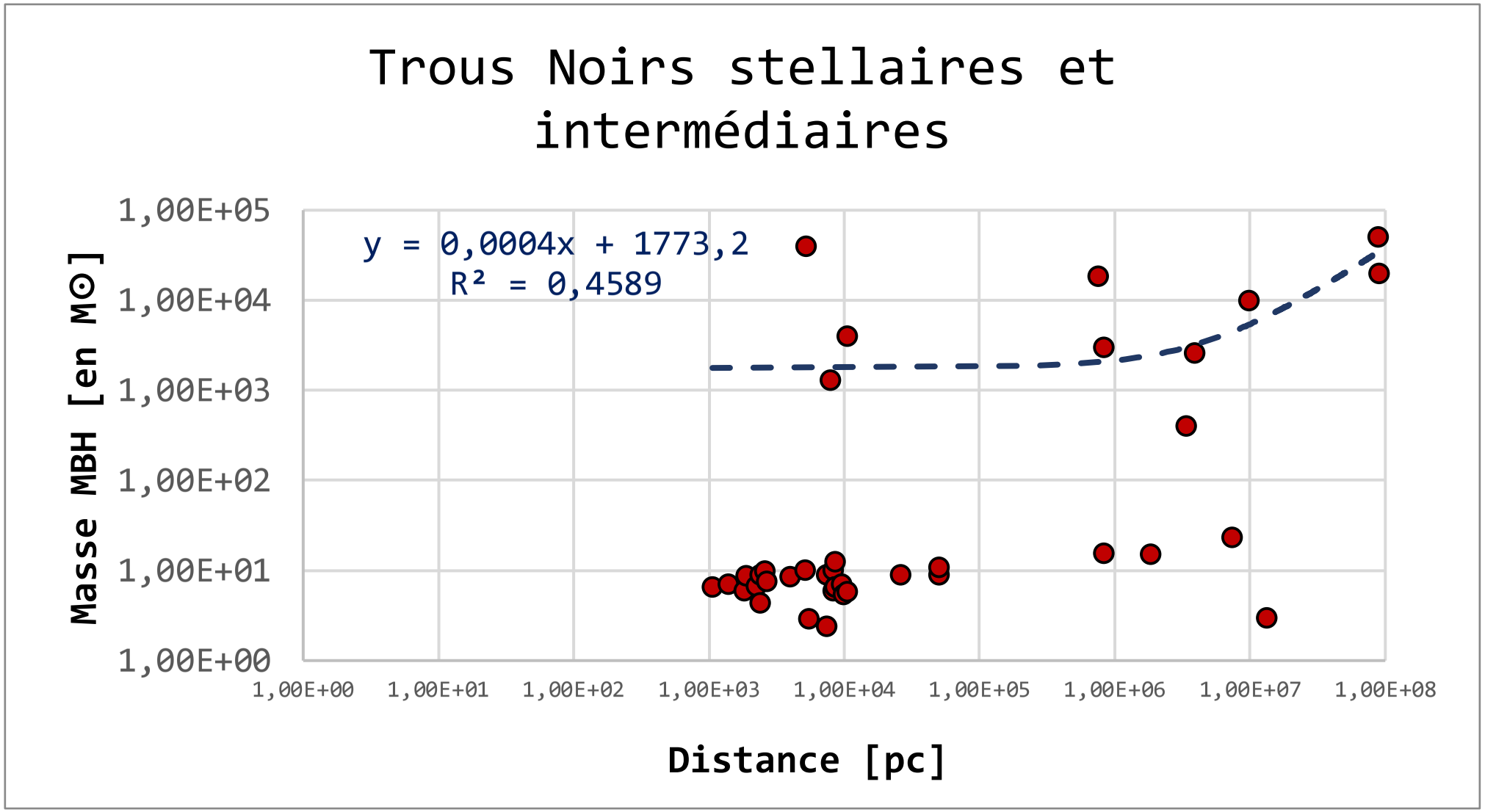
Nom	**Distance [pc]**	**M** [$M_\odot$]
A0620-00	1,06E+03	6,61
Cygnus X-1	1,90E+03	8,7
Cygnus X-3	7,40E+03	2,4
GRO J0422+32	2,40E+03	[3,66 - 4,97]
GRO J1655-40	[1 - 3,5]E3	[5,5 - 7,9]
GRS 1124-683	1,39E+03	6,95
GRS 1915+105	8,60E+03	12,4
GS 2000+25	2,70E+03	[7,2 - 7,8]
GX 339-4	[6-15]E3	5,8
IGR J17091-3624	8,58E+03	[3 - 10]
M33 X-7	8,40E+05	15,65
SN 1997D	1,34E+07	3
SS 433	5,50E+03	2,9
V404 Cyg	2,39E+03	9
XTE J1118+480	1,84E+03	6
XTE J1550-564	5,20E+03	10
XTE J1650-500	2,60E+03	9,7
V4641 Sgr	9,59E+03	7,1
4U 1543-475	7,50E+03	9
MAXI J1659-152	8,60E+03	[3 - 10]
NGC 300 X-1	1,85+E6	15
XTE J1859-226	[4,60 – 15,3]E3	5,4
LMC X-3	5,06E+04	[5 - 13]
IGR J17497-2821	8,28E+03	10
H1705-25	8,28E+03	[5 - 7]
GS 1354-64	2,61E+04	[8 - 10]
GRS 1009-45	3,99E+03	[8 - 9]
IC 10 X-1	7,36E+06	23
LMC X-1	5,06E+04	10,9

TABLE 4.1: *Trous noirs stellaires : Échantillon de données incluses dans notre database. Nous avons sélectionné uniquement les paramètres de masse M et de distance d.*

Nom	**Distance [pc]**	**M [$M_\odot$]**
Cigar Galaxy	3,91E+06	2,60E+03
GCIRS 13E	8,00E+03	1,30E+03
HLX-1	8,89E+07	5,01E+04
M82 X-1	3,40E+06	4,00E+02
Triangulum Galaxy	8,35E+05	3,00E+03
ESO 243-49 HLX-1	9,00E+07	2,00E+04
G1	7,60E+05	1,85E+04
M15	1,05E+04	4,00E+03
M74	9,81E+06	1,00E+04
Omega Centauri	5,21E+03	4,00E+04

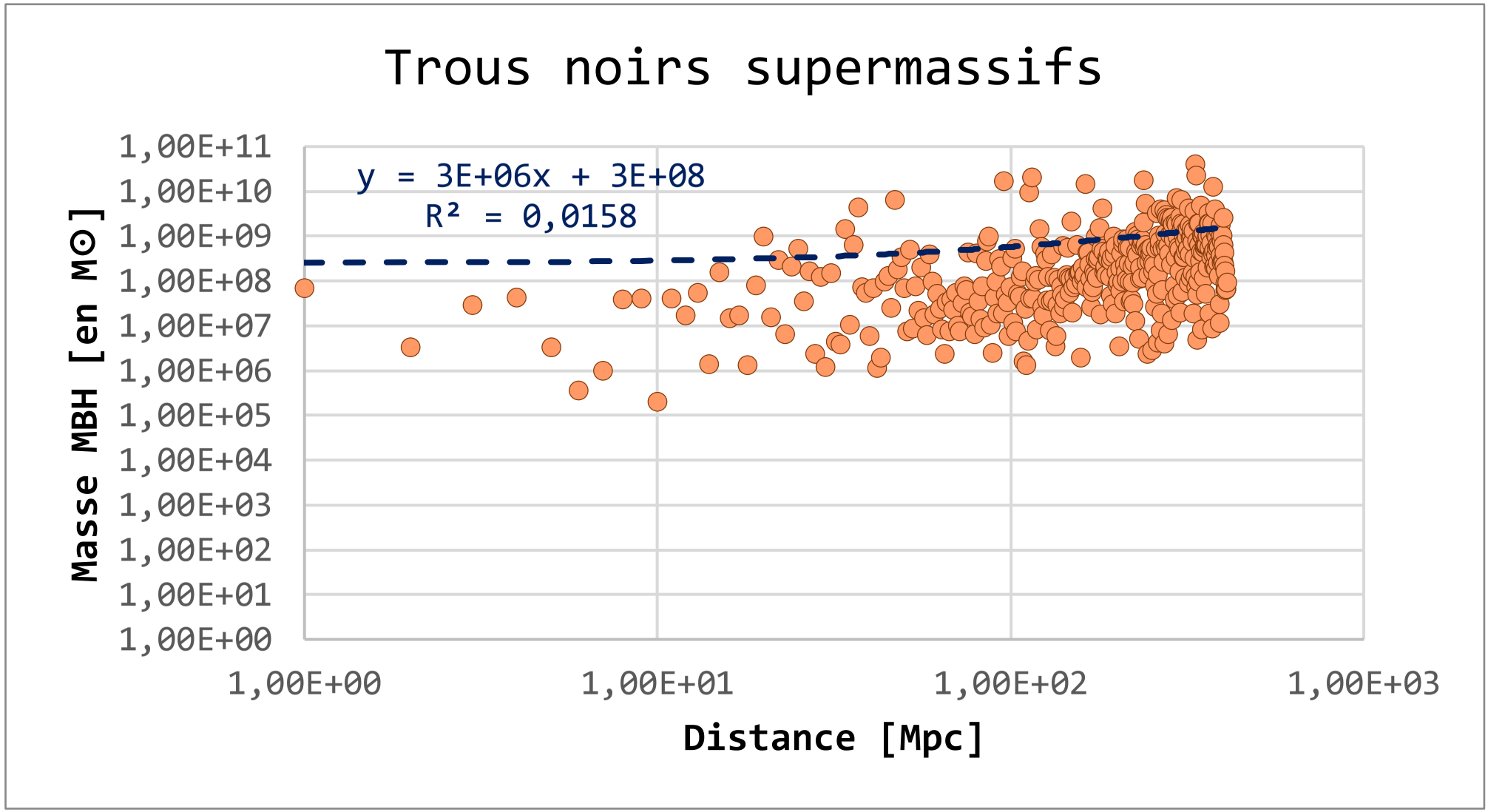
TABLE 4.2: *Trous noirs intermédiaires : Échantillon de données incluses dans notre database.*

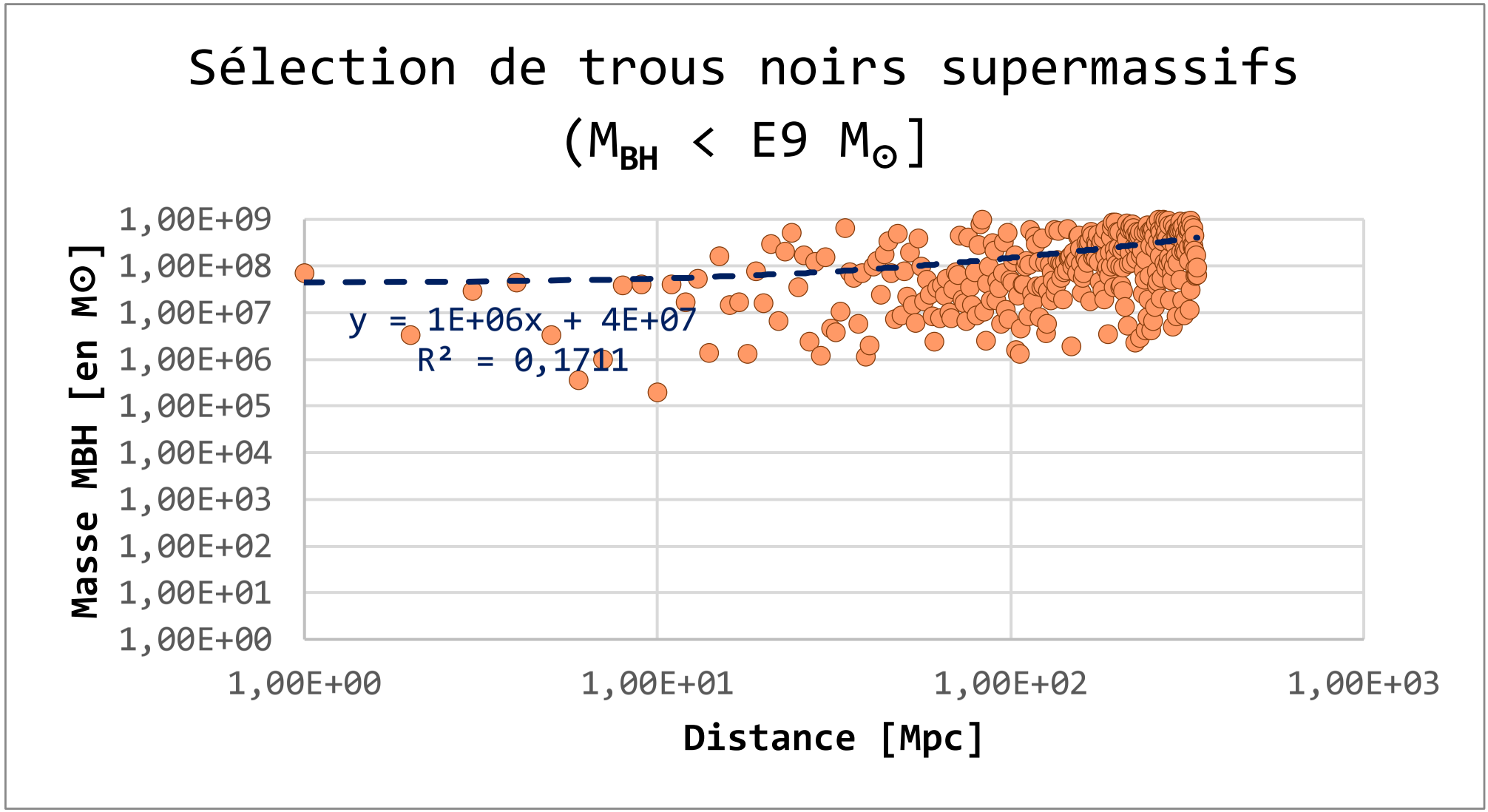

Trous noirs intermédiaires
Masse MBH [en M⊙]
1,00E+05
1,00E+04
1,00E+03
1,00E+02
1,00E+01
1,00E+00
y = 0,0003x + 9463,6
R² = 0,3487
1,00E+00
1,00E+01
1,00E+02
1,00E+03
1,00E+04
1,00E+05
1,00E+06
1,00E+07
1,00E+08
Distance [pc]

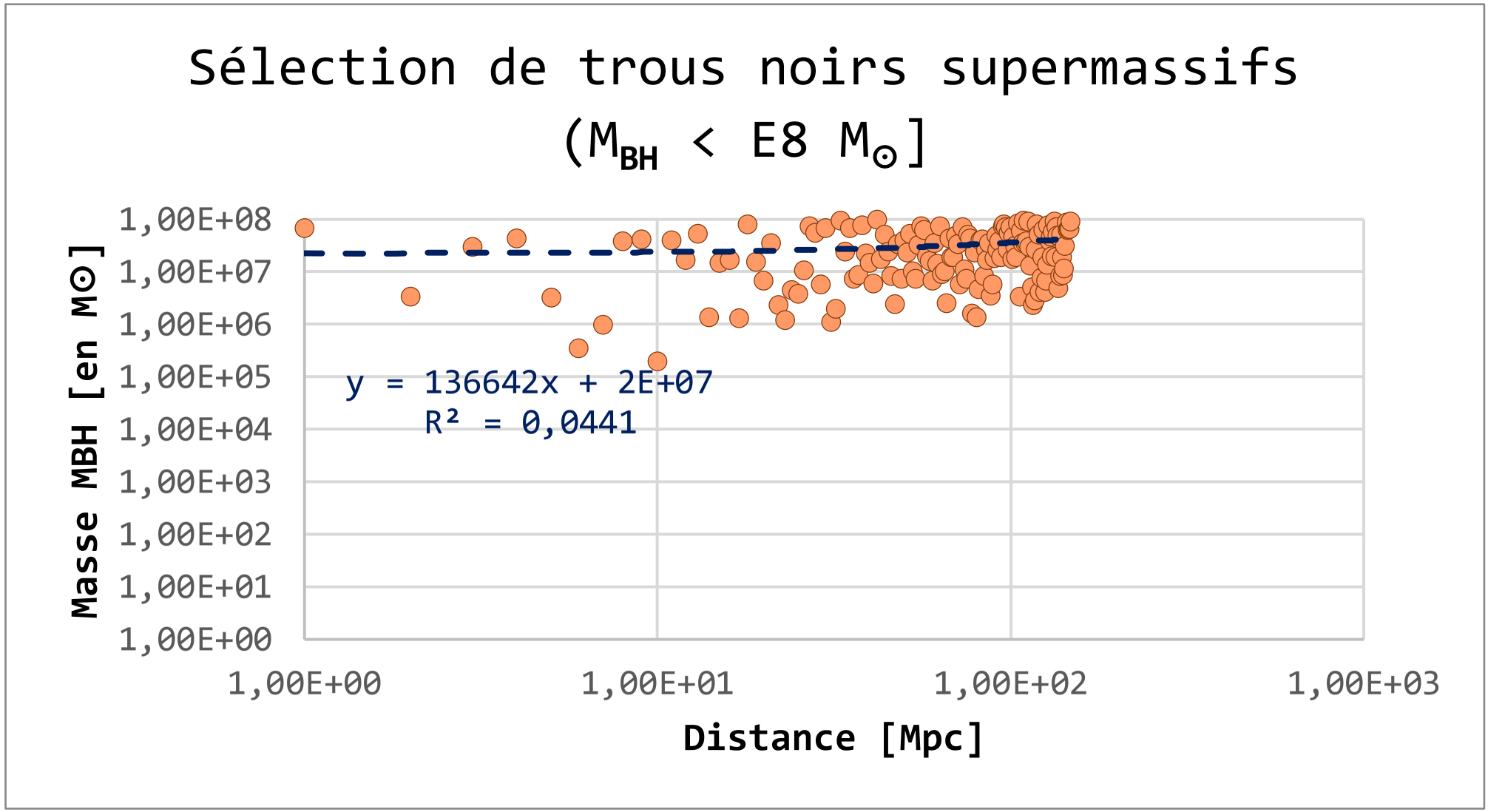

Trous Noirs stellaires et intermédiaires
y = 0,0004x + 1773,2
R² = 0,4589
Masse MBH [en M⊙]
1,00E+05
1,00E+04
1,00E+03
1,00E+02
1,00E+01
1,00E+00
1,00E+00
1,00E+01
1,00E+02
1,00E+03
1,00E+04
1,00E+05
1,00E+06
1,00E+07
1,00E+08
Distance [pc]

Nom	**Distance [pc]**	**M [$M_\odot$]**
Messier 81	7,10E-01	7,00E+07
Messier 32	7,63E-01	3,40E+06
NGC 1023	6,39E+00	4,40E+07
Messier 106	9,64E+00	3,90E+07
NGC 4258	9,64E+00	4,17E+07
Centaurus A	1,18E+01	5,50E+07
NGC 6814	1,99E+01	1,09E+07
NGC 5929	3,81E+01	1,78E+07
NGC 1277	7,24E+01	1,70E+10
UGC 3995	7,27E+01	4,90E+07
Akn 79	7,41E+01	3,47E+07
IC 4329A	7,50E+01	5,89E+06
3C 40	7,51E+01	7,24E+07
Zw229-015	1,21E+02	8,18E+06
Mrk 533	1,22E+02	3,63E+07
Mrk 10	1,30E+02	2,95E+07
3C 88	1,31E+02	1,07E+08
1610+296	1,31E+02	1,89E+07
3C 98	1,33E+02	7,59E+07
UGC 6100	1,34E+02	5,01E+07
3C 338	1,35E+02	6,03E+08
Mrk 279	1,35E+02	2,72E+07
3C 29	1,94E+02	1,58E+08
3C 293	2,02E+02	9,77E+07
Eairall9	2,06E+02	1,99E+08
I Zw 187	2,44E+02	7,24E+07
PG 1426+015	3,86E+02	1,02E+09
PG 1351+640	3,91E+02	3,02E+08
PG 1411+442	3,98E+02	3,46E+08
3C 388	4,04E+02	1,51E+09
1253-055	2,38E+03	2,69E+08
0538+498	2,41E+03	3,80E+09
Sagittarius A*	2,43E+03	4,15E+06
1330+022	957,59	6,61E+07
1221+245	968,35	9,33E+07

TABLE 4.3: *Échantillon de trous noirs supermassifs.*


Trous noirs supermassifs
y = 3E+06x + 3E+08
R² = 0,0158
Masse MBH [en M⊙]
1,00E+11
1,00E+10
1,00E+09
1,00E+08
1,00E+07
1,00E+06
1,00E+05
1,00E+04
1,00E+03
1,00E+02
1,00E+01
1,00E+00
1,00E+00
1,00E+01
1,00E+02
1,00E+03
Distance [Mpc]


Sélection de trous noirs supermassifs
(M_{BH} < E9 $M_\odot$]
Masse MBH [en M⊙]
1,00E+09
1,00E+08
1,00E+07
1,00E+06
1,00E+05
1,00E+04
1,00E+03
1,00E+02
1,00E+01
1,00E+00
y = 1E+06x + 4E+07
R² = 0,1711
1,00E+00
1,00E+01
1,00E+02
1,00E+03
Distance [Mpc]


Sélection de trous noirs supermassifs
(M_{BH} < E8 $M_{\odot}$]
Masse MBH [en MO]
1,00E+08
1,00E+07
1,00E+06
1,00E+05
1,00E+04
1,00E+03
1,00E+02
1,00E+01
1,00E+00
y = 136642x + 2E+07
R² = 0,0441
1,00E+00
1,00E+01
1,00E+02
1,00E+03
Distance [Mpc]

4.2.2 Interprétation des résultats

Les résultats parlent d'eux même, le coefficient de corrélation R étant trop petit (moins de 50 % pour envisager une corrélation linéaire entre la masse et la distance des trous noirs (du moins en ce qui concerne les trous noirs stellaires et supermassifs),la distribution des masses des trous noirs n'est donc pas proportionnelle à leurs distances et cela confirme, l'hypothèse selon laquelle les scénarios de créations des trous noirs sont multiples.

Nous avons cependant été surpris de constater une coefficient de corrélation élevé en ce qui concerne les trous noirs intermédiaires (60%). Cela peut suggérer que le scenario de création des trous noirs intermédiaires est unique.

Malheureusement nous ne disposons pas de statistique assez élevé pour confirmer ce résultat. Ajouter à cela le fait qu'aucun candidat au titre de trous noirs intermédiaire n'ai été officiellement confirmé.

Type de trou noir	**Filtre appliqué**	**y**	**R^2**	**R (%)**
stellaire	/	2E07x + 8,1976	0,0263	16,22
intermédiaires	/	0,0003x + 9463,6	0,3487	59,05
intermédiaires & stellaires	/	0,0004x + 1773,2	0,4589	67,74
Trous noirs supermassifs	/	3E+06x + 3E+08	0,0158	12,57
Sélection de trous noirs supermassifs (1)	$M_{BH} < E8 M_{\odot}$	136642x + 2E+07	0,0441	21,00
Sélection de trous noirs supermassifs (2)	$M_{BH} < E9 M_{\odot}$	1E+06x + 4E+07	0,1711	41,36

TABLE 4.4: *Tableau regroupant les équations des courbes à tendance linéaire associé à chaque type de trous noirs*

Perspectives & conclusion générale :

A travers ce mémoire, nous avons retracé l'épopée scientifiques des trous noirs tout en nous intéressant à leur classification, leur origines ainsi qu'à leur détection.

Une application a été tentée ; celle-ci consiste en l'étude de la relation entre la masse des trous noirs et leur distance et voir ce que l'absence où la présence d'une corrélation peut suggérer en terme d'hypothèses astrophysiques.

Nous avons pu confirmé une fois encore que les scénarios de création des trous noirs sont multiples. La détermination de ces scénarios est sûrement la clé notre compréhension des trous noirs mais aussi de l'univers.

En effet, plus les trous noirs observés sont éloignés et plus on remonte dans le passé et plus on s'approche de l'univers primordial et du big bang.

Seulement, si la majorité des physiciens s'accordent à dire que l'univers est né d'une singularité il y a environ 13,8 milliards d'années, cette estimation présente des incohérences avec l'âge même de certains trous noirs supermassifs. Voilà pourquoi une compréhension des mécanismes de formation des trous noirs est d'autant plus importante.

Nous avons aussi pu constater une une certaine linéarité dans le cas des trous noirs intermédiaire. Celle-ci est intéressante puisqu'elle peut suggérer un scénario unique dans le cas des trous noirs intermédiaires. Seulement, le manque de statistique est tel que nous ne pouvons rien affirmer. Des études plus poussées devront être menées avant de pouvoir se prononcer.

En terme de perspectives, il serait intéressant d'aller plus loin en étudiant la corrélation entre la masse du trou noir et l'un de ses autres paramètres comme le spin, et le redshift. L'étude du spin serait intéressante particulièrement en ce qui concerne les trous noirs stellaires.

Comme nous le savons, il existe deux scénarios de créations possibles dans le cas des trous noirs stellaires :Le premier est l'explosion d'une géante finale rouge en supernova, et le deuxième la collision de deux étoiles à neutrons.

La différence de spin entre les deux nous permettrait de affirmer ou d'infirmer une bonne fois pour toute l'existence d'une corrélation linéaire entre deux paramètres caractérisant les trous noirs.

Annexe A

Trous noirs database

Comme expliqué dans le Chapitre 4, nous avons voulu étudier la corrélation entre la masse M et la distance d des trous noirs. Pour cela, nous avons créer notre propre database et qui regroupe les données jointes de plusieurs bases de données. Les références de celle-ci sont les suivantes :

[1] Wikipédia, l'encyclopédie libre, URL : `https://fr.wikipedia.org/`
[2] NASA/IPAC Extragalactic Database (NED), URL : `https://ned.ipac.caltech.edu/`
[3] StarDate's Black Hole Encyclopedia, URL : `http://blackholes.stardate.org/`
[4] The AGN Black Hole Mass Database of the Georgia State University (GSU), Astronomy Labs, URL : `http://www.astro.gsu.edu/AGNmass/`
[5] IOPscience, URL : `https://iopscience.iop.org/`
[6] Messier Objects, URL : `https://www.messier-objects.com/`
[7] Anne's Astronomy News, URL : `http://annesastronomynews.com/`
[8] Hyun Kyu Lee and Myeong-Gu Park. "Black Hole Astrophysics 2002" In : River Edge, N.J., World Scientific, (2002).

Vous trouverez plus bas les données collectées et répertoriées pour chaque type de trou noirs : stellaire (p47 – p54), intermédiaire (p.55 – p.58) et massif (p.59 – p.134).

=	Nom	Année de détection	Constellation	Masse MBH [en M⊙]	Redshift z	Distance [ly]
1	A0620-00	1917	Licorne	6,61 ± 0,25	N/A ± N/A	3460 ± 390
2	Cygnus X-1	1964	Cygne	8,7 ± 0,8 ou [14 - 16]	N/A ± N/A	6100 ± 400
3	Cygnus X-3	1967	Cygne	2,4 + $\mathbf{Err}_{-1,1}^{+2,1}$	N/A ± N/A	2,40E+04
4	GRO J0422+32	1992	Persée	[3,66 - 4,97] ou [3 - 11]		7,80E+03
5	GRO J1655-40	1994	Scorpion	[5,5 - 7,9] ou 7	N/A ± N/A	[5500–11000]

=	Distance [pc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
1	1060 ± 120	N/A ± N/A	_ Binaire X	V0616 Mon , 2MASS J06224454-0020442 , SSTSL2 J062244.54-002044.3 , CXO J062244.5-002044 , CXOPS J062244.5-002044 , 1A 0620-00 , INTREF 297 , Nova Mon 1917 , Nova Mon 1975 , Mon X-1	[1] [2] [3]
2	1900 ± 100	N/A ± N/A	_ Binaire X à forte masse (HMXB)	AG (or AGK2)+35 1910 , BD+34 3815 , HD (or HDE) 226868 , HIP 98298 , SAO 69181, V1357 Cyg, BD +34 3815 , 2MASS J19582166+3512057 , SSTSL2 J195821.67+351205.6	[1] [2] [3]
3	7400±1100	N/A ± N/A	_ Binaire X à forte masse (HMXB)	V1521 Cyg , LQAC 308+040 001 , EGaPS J2032+4057 , 87GB 203037.0+404726 , NVSS J203225+405728 , 18P 57 , WR 145a , X Cyg X-3 , RX J2032.3+4057 , INTEGRAL1 118 , 2U 2030+40 , 4U 2030+40	[1] [2]
4	2400		_ X-ray nova _ X-ray transient (SXT)	V518Per , GRO J0422+33 , RLC2006 XB2 , Granat 0417+335 , Nova Persei 1992 , Nova Persei 1993 , ZGH2005 OS00676-097731 , GRO J0422+32 , ZGH2005 XS00676B3-003	[1] [3]
5	[1 - 3,5]E3	N/A ± N/A	_ Binaire X à faible masse (LMXB) _ Microquasar	V1033 Sco , 2MASS J16540014-3950447 , SSTSL2 J165400.14-395044.9 , CXO J165400.1-395044 , 2PBC J1653.9-3950	[1] [2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Masse MBH [en M⊙]	Redshift z	Distance [ly]
6	GRS 1124-683	1991	Mouche	6,95 ± 0,85	N/A ± N/A	4,56E+03
7	GRS 1915+105	1994	Aigle	12,4 + $\mathbf{Err}_{-1,8}^{+2}$ ou 14	N/A ± N/A	4,00E+04
8	GS 2000+25	1988	Petit Renard	[7,2 - 7,8]		8800 ± 2300
9	GX 339-4	1973	Autel	5,8 ou [5 - 10]		1,96E+04
10	IGR J17091-3624	2003	Scorpion	[3 - 10]	N/A ± N/A	2,80E+04

=	Distance [pc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
6		N/A ± N/A	_ X-ray nova	GU Muscae , GU Mus , GRS 1124-683 , Nova Muscae 1991 , 1RXS J112623.5-684040 , NOVA Mus 1991 , GRS 1124-684 , 2XMM J112626.6-684033 , 2XMMp J112626.5-684033 , 1XMM J112626.4-684032	[1] [2] [3]
7	8600 + **Err**$_{-1600}^{+2000}$	N/A ± N/A	_ Binaire X à faible masse (LMXB) _ Microquasar	V1487 Aquilae , Granat 1915+105 , Nova Aquilae 1992 , Granat 1915+10 , INTEGRAL1112 , V1487 Aql , 2PBC J1915.1+1056 , PBC J1915.1+1056 , SAXWFC J1915.2+1057.4 , 2XMM J191511.7+105645	[1] [2] [3]
8	2700 ± 700		_ Binaire X	Nova Vul 1988 , INTREF 1007 , QZ Vul	[1] [3]
9	[6-15]E3		_ Binaire X à faible masse (LMXB) _ Microquasar	V821 Arae , 4U 1658-48 , 3A 1659-487 , 1RXS J170248.5-484719 , 2MASS 17024936-4847228	[1] [3]
10		N/A ± N/A	_ Binaire X	SWIFT J1709.8-3627B , INTEGRAL1 44 , CXOU J170907.6-362425 , IGR J17091-3624 , IGR J17091-3624 ID , 2PBC J1709.4-3624 , SAXWFC J1709.0-3623.2	[1] [2]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Masse MBH [en M⊙]	Redshift z	Distance [ly]
11	M33 X-7	1981	Triangle	15,65 ± 1,45	N/A ± N/A	2,70E+06
12	SN 1997D	1997	Réticule	3	N/A ± N/A	4,38E+07
13	SS 433	1977	Aigle	2,9 ± 0,7	N/A ± N/A	18000±700
14	V404 Cyg	1989	Cygne	9 ou [10-15]		7,80E+03
15	XTE J1118+480	2000	Grande Ourse	6 ou [6 - 8]	N/A ± N/A	6,00E+03
16	XTE J1550-564	1998	Règle	10 ou [10 - 15]	N/A ± N/A	1,70E+04

=	Distance [pc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
11	8,40E+05	N/A ± N/A	_ Binaire X	2E 408 , 2E 0130.7+3016 , RX J0133.5+3032 , CXOU J013334.1+303210 , GALEX J013334.18+303211.5 , ChASeM33F 225 , ChASeM33F J013334.13+303211.3 , ChASeM33 137 , CXO J013334.1+303210	[1] [2] [3]
12	1,34E+07	N/A ± N/A	_ Supernova de type II	SN 1997D , NGC 1536	[1] [2]
13	5500±200	N/A ± N/A	_ Binaire X _ Microquasar	V1343 Aql , GAL 039.7-02.0 , 2MASSJ19114957+0458578 , USNO 659 , 1A 1909+04 , 87GB 190920.8+045332 , NEK40.1-02.1 , 3A 1909+048 , GPS 1909+049 , RGB J1911+049 , BWE 1909+0453 , GRS039.60 - 01.80, RX J1911.7+0459 , 4C 04.66 , 1H 1908+047 , 4U1908+05 , 1RXS J191149.7+045857 , 2E1909.3+0453 , HBHA 204-02 , AAVSO1906+04 , 2E 4204 , INTEGRAL1 110 , TXS1909+048 , 1ES 1909+04.8 , INTREF 969	[1] [2]
14	2,39E+03		_ Binaire X _ Microquasar	V404 Cyg , Nova Cygni 1938 , Nova Cygni 1989 , GS 2023+338 , AAVSO 2020+33	[1] [3]
15		N/A ± N/A	_ Soft X-ray transient (SXT) _ Binaire X _ Microquasar	KV Ursae Majoris , 2MASS J11181079+4802126 , AAVSO 1112+48	[1] [2] [3]
16		N/A ± N/A	_ Binaire X à faible masse (LMXB) _ Microquasar	V381 Normae	[1] [2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Masse MBH [en M⊙]	Redshift z	Distance [ly]
17	XTE J1650-500	2001	Autel	9,7 ± 1,6 ou [5-10]		2,60E+04
18	V4641 Sgr	1999	Sagittaire	7,1 ± 0,3		31,28E3 + **Err** $_{-7,14E3}^{+8,87E3}$
19	4U 1543-475	1971	Loup	9 ou 7		2,50E+04
20	MAXI J1659-152	2010	Ophiuchus	[3 - 10]	N/A ± N/A	2,80E+04
21	NGC 300 X-1		Sculpteur	15		6,00E+06
22	XTE J1859-226	1999	Petit Renard	5,4		[15 - 50]E3
23	LMC X-3	1971	Dorade	[5 - 13]		1,65E+05
24	IGR J17497-2821	2006	Sagittaire	10		2,70E+04
25	H1705-25	1977	Ophiuchus	[5 - 7]		2,70E+04
26	GS 1354-64	1987	Compas	[8 - 10]		8,50E+04
27	GRS 1009-45	1993	Voiles	[8 - 9]		1,30E+04
28	IC 10 X-1		Cassiopée	23		2,40E+07
29	LMC X-1		Dorade	10,9	N/A ± N/A	1,65E+05

=	Distance [pc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
17	[2,6 ± 0,7]E3		_ X-ray transient (SXT)	INTREF 720	[1] [3]
18	9,59E3 + $\mathbf{Err}_{-2,19E3}^{+2,72E3}$		_ Binaire X à faible masse (LMXB)	V4641 Sagittarii , V4641 Sgr , GSC 06848-03786 , SAX J1819.3-2525 , 2MASSJ18192163-2524258 , AAVSO 1813-25B , XTE J1819-254	[1] [3]
19	7,50E+03		_ Binaire X _ X-ray transient (SXT)	IL Lupi	[1] [3] [8]
20		N/A ± N/A	_ Binaire X		[2] [3]
21	1,85E+06		_ Binaire X		[3]
22				V406 Vulpeculae	[3]
23			_ Binaire X		[3]
24			_ X-ray transient (SXT)		[3]
25			_ X-ray transient (SXT)	Nova Ophiuchi 1977 , V2107 Ophiuchi , XN Oph77	[3]
26			_ Binaire X	GW Circini	[3]
27			_ X-ray transient (SXT)	Nova Velorum 1993	[3]
28			_ X-ray source		[3]
29		N/A ± N/A	_ Binaire X	NGC 2078, LMC X-1 , LHG 78 , ESO 057-EN 010 , SSTSL2 J053938.83-694435.5	[2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Masse M_{BH} [en $M_{\odot}$]	Redshift z	±	ξrr redshift z	Distance [ly]
1	Cigar Galaxy	1774	Grande Ourse	[2 - 50] E2	0,00068	±	0,00001	1,27E+07
2	1E1740.7-2942		Ophiuchus		N/A	±	N/A	
3	GCIRS 13E		Sagittaire	1,30E+03				2,60E+04
4	HLX-1	2004	Phoenix	[E2 - E5]	0,022395	±	0	2,90E+08
5	M82 X-1		Grande Ourse	4E2 ou 1E3	N/A	±	N/A	1,10E+07
6	Messier 110	1773	Andromède		-0,0008	±	0,00001	2,71E+06
7	Triangulum Galaxy	1654	Triangle	3,00E+03	-0,0006	±	0,00001	[2,38 - 3,07]E6
8	ESO 243-49 HLX-1		Phoenix	2,00E+04				2,90E+08
9	G1		Andromède	[14 - 23]E3	-0,00111	±	0,00001	2,30E+06

=	Distance [pc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
1	[3,907 ± 0,668]E6	4,15 ± 0,31	_ Galaxie spirale à sursaut d'étoile	NGC 3034 , ARP 337 , PGC 28655 , UGC 5322 , MCG 12-10-11 , 3C 231 , ZWG 333.7 , KCPG218B , ZWG 333.8 , PRC D-13 , KCPG 218B , MESSIER 082 , NGC 3034 , UGC 05322 , ARP 337 , CGCG 333-008	[1] [2] [7]
2		N/A ± N/A	_ Trou noir	Great Annihilator , 2PBC J1744.0-2942 , SAXWFC J1743.8-2945.1 , AX J1743.9-2945 , SWIFT J1743.7-2946	[1] [2]
3	8,00E+03		_ Trou noir intermédiaire _ Objet radio et infrarouge	WR 101f	[1]
4			_ Trou noir intermédiaire		[1]
5	3,40E+06	N/A ± N/A	_ Source X ultralumineuse	MESSIER 082 X-1 , CXOM82 J095550.2+694047 , CXOU J095550.2+694047 , 2XMM J095550.5+694046 , [MTK2001] 7	[1] [2] [3]
6	[830 ± 35]E3	N/A ± N/A	_ Galaxie elliptique E5 pec	M110 , NGC 0205 , UGC 00426 , CGCG 535-014 , CGCG 0037.6+4125, PGC 2429 , IRAS 00376+4124 , ISOSS J00403+4140 , 2MASX J00402207+4141070 , MCG+07-02-014 , UZC J004022.0+414107 , Z 535-14 , Z 0037.6+4125	[1] [2]
7	[73 - 94]E4	N/A ± N/A	_ Galaxie spirale	MESSIER 033 , NGC 0598 , Triangulum Galaxy , UGC 01117 , CGCG 502-110	[1] [2]
8	9,00E+07		_ Trou noir intermédiaire		[3]
9	7,60E+05	N/A ± N/A	_ Groupe d'étoiles	MAYALL II , 2MASS J00324653+3934406 , LEDA 2802610 , SSTSL2 J003246.52+393440.5 , SKHV 001	[2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Masse M_{BH} [en $M_{\odot}$]	Redshift z	±	ξrr redshift z	Distance [ly]
10	M15	1746	Pégase	4,00E+03	N/A	±	N/A	3,40E+04
11	M74		Poissons	1,00E+04	0,00219			3,20E+07
12	Omega Centauri	2008	Centaure	4,00E+04	N/A	±	N/A	1,70E+04

=	Distance [pc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
10	1,05E+04	N/A ± N/A	_ Amas globulaire	MESSIER 015 , NGC 7078 , 2MASXi J2129571+121004 , 2MASS J21295836+1210007 , IRAS 21274+1156	[1] [2] [3] [6]
11		5,29 ± 0,48	_ Galaxie spirale	MESSIER 074 , NGC 0628 , UGC 01149 , CGCG 460-014 , CGCG 0134.0+1532	[2] [3] [6]
12		N/A ± N/A	_ Galaxie	omega Cen , NGC 5139 , ESO 270-SC 011 , LEDA 2802650 , 3FGL J1326.7-4727	[2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
1	3C 75		Baleine			0,0231	2,96E+08
2	3C 371	1997	Dragon			0,051 ± 0,0003	7,30E+08
3	4C +37.11	2006	Persée		1,50E+10	0,05505 ± 0,00008	7,50E+08
4	S5 0014+81		Céphée		4,00E+10	3,366 ± 0,001	1,21E+10
5	APM 08279+5255	1998	Lynx		2,30E+10	3,91220 ± 0,0007	23,6E9 (co-moving) ou 12,05E9 (light travel time)
6	Arp 220		Serpent			0,01813 ± 0,00002	2,45E+08
7	Centaurus A	1826	Centaure		5,50E+07	0,00183 ± 0,00002	[10–16]E6 ou 13E6 ± 3E6
8	Fornax A	1826	Fourneau			0,00587 ± 0,00003	6,20E+07 ±
9	HE0450-2958	2005	Burin			0,24657 ± 0,00007	3,00E+09
10	IC 1459	1892	Grue			0,00601 ± 0,00004	8,50E+07 ±
11	Messier 31	964	Andromède		3,00E+07	-0,001 ± 0,00001	2,50E+06
12	Messier 32	1749	Andromède		3,40E+06	-0,00067 ± 0,00002	2,46E+06 ±
13	Messier 60	1779	Vierge		3,4E9 ou 4,5E9	0,0037 ± 0,00002	5,67E+07
14	Messier 77	1780	Baleine		1,50E+07	0,00379 ± 0,00001	5,19E+07
15	Messier 81	1774	Grande ourse		7,00E+07	-0,00011 ± 0,00001	1,20E+07

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc]	±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
1		90,8			99,32	±	6,96	_ Trou noir binaire	MCG+01-08-027 , NGC 1128	[1] [2]
2		224			224,44	±	15,77	_ Objet BL Lacertae _ FRI Radiogalaxie	UGC 11130 , PGC 61417 , 2E 4023 , QSO B1807+698 , 7C 180717.90+694858.00	[1] [2]
3		2,30E+02			241,77	±	16,93	_ Trou noir binaire _ Galaxie radio de type Seyfert	0402+379 , GLXY J0405+380 , B2 0402+37 , 2MASX J04054928+3803320 , RX J0405.8+3803	[1] [2]
4		3,71E+03			14882,08	±	1041,76	_ Quasar hyper lumineux _ blazar FSRQ	6C B0014+8120 , Q0014+813	[1] [2]
5		7,2E9 (co-moving)			17300,63	±	1211,05	_ (BAL) quasar _ galaxie lumineuse en infrarouge (LIRG)	IRAS F08279+5255 , QSO B0827+5255 , QSO J0831+5245	[1] [2]
6		7,50E+01			81,93	±	5,74	_ Galaxie ultra-lumineuse en infrarouge (ULIRG) _ Galaxie à sursaut de formation d'étoiles _ Galaxie active (AGN)	IC 1127 , IC 4553 , UGC 9913 , PGC 55497 , VV 540	[1] [2]
7		[3-5]			11,84	±	0,87	_ Galaxie lenticulaire S0 pec _ Radiogalaxies	NGC 5128 , Arp 153 , PGC 46957 , 4U 1322–42 , Caldwell 77 , ESO 270-IG 009 , ESO 132233-4245.4	[1] [2]
8	2,90E+06	19	±	9,00E-01	24,38	±	1,72	_ Grosse galaxie lenticulaire _ Radiogalaxie	NGC 1316 , ESO 357- G 022 , ESO 032047-3723.2 , ARP 154 , PGC 12651 , MCG -6-8-8 , FCC 21 , AM 0320-372 , IRAS03208-3723 3	[1] [2]
9		1,00E+03			1090,19	±	76,31	_ Quasar	[HB89] 0450-299 , 2MASX J04523006-2953353 , 2MASXi J0452300-295335 , 2MASS J04523009-2953353 , 2MASSi J0452300-295335	[1] [2]
10	2,70E+07	26,2	±	8,5	22,62	±	1,62	_ Galaxie elliptique de type E3	IC 5265 , ESO 406- G 030 , ESO 225423-3643.8 , AM 2254-364	[1] [2]
11		0,78			N/A	±	N/A	_ Galaxie spirale	NGC 0224 , Andromeda Galaxy, UGC 00454 , CGCG 535-017	[1] [2]
12	8,00E+04	0,763	±	0,024	N/A	±	N/A	_ Galaxie elliptique de type cE2	NGC 0221 , UGC 00452 , ARP 168 , ARK 012	[1] [2]
13		17,38			21,14	±	1,52	_ Galaxie elliptique de type E2	NGC 4649 , UGC 07898 , ARP 116 NED02 , VV 206a	[1] [2]
14		15,9	±	1,1	13,48	±	0,97	_ Galaxie spirale barrée _ Galaxie active	NGC 1068 , UGC 02188 , ARP 037, KUG 0240-002	[1] [2]
15		3,674	±	0,478	0,71	±	0,11	_ Galaxie spirale _ SA(a)ab _ LINER	NGC 3031 , UGC 05318 , CGCG 333-007 , CGCG 0951.4+6918	[1] [2] [6]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
16	Messier 84	1781	Vierge		1,50E+09	0,00339 ± 0,00002	5,49E+07
17	Messier 87	1781	Vierge		6,60E+09	0,00428 ± 0,00002	5,35E+07
18	Messier 104	1781	Vierge		6,60E+08	0,00342 ± 0,00002	3,11E+07 ±
19	Messier 105	1781	Lion		[1,4 - 2]E8	0,00304 ± 0,00001	3,66E+07
20	Messier 106	1781	Chiens de chasse		3,90E+07 ± 1,00E+06	0,00149 ± 0,00001	2,37E+07 ±
21	Mrk 421	1992	Grande ourse			0,03002 ± 0,00008	397E6 - 434E6
22	Mrk 501	1974	Hercule		[0,99 - 3,4]E9	0,03366 ± 0,00007	4,56E+08
23	Sculptor Galaxy	1783	Sculpteur		5,00E+06	0,00081 ± 0,00001	1,14E+07 ±
24	NGC 1023	1786	Persée		4,40E+07 ± 5,00E+06	0,00213 ± 0,00001	
25	NGC 1097	1790	Fourneau			0,00424 ± 0,00001	5,81E+07
26	NGC 1277	1875	Persée		1,70E+10	0,01690 ± 0,00009	2,31E+08
27	NGC 1566	1885	Dorade			0,00502 ± 0,00001	3,84E+07 ±

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc]	±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
16		16,83			19,88	±	1,43	_ Galaxie lenticulaire de type S0	NGC 4374 , UGC 07494 , VCC 0763 , VPC 0385	[1] [2]
17		16,4	±	0,5	23,79	±	1,7	_ Galaxie elliptique supergéante _ Radiogalaxie _ Galaxie E0-1	NGC 4486 , Virgo A , UGC 07654 , ARP 152	[1] [2]
18	1,00E+06	9,55	±	0,31	20,17	±	1,46	_ Galaxie elliptique géante _ Galaxie S0 _ Galaxie lenticulaire _ SA(a)a	NGC 4594 , UGCA 293 , MCG -02-32-020 , Sombrero Galaxy	[1] [2]
19		11,22			18,56	±	1,35	_ Galaxie elliptique de type E1	NGC 3379 , UGC 05902 , CGCG 066-018 , CGCG 1045.2+1251	[1] [2]
20	1,50E+06	7	±	0,5	9,64	±	0,71	_ Galaxie spirale de type Sbp	NGC 4258 , UGC 07353 , VV 448 , CGCG 243-067	[1] [2]
21		[122 - 133]			136,6	±	9,57	_ Blazar _ Galaxie active _ Objet BL Lacertae	MRK 0421 , UGC 06132 , KUG 1101+384A , CGCG 184-050 , CGCG 1101.7+3828	[1] [2]
22		140			148,75	±	10,42	_ Blazar _ Objet BL Lacertae	MRK 0501, UGC 10599, CGCG 225-007, CGCG 1652.2+3950, MCG +07-35-002	[1] [2]
23	7,00E+05	3,50E+06	±	2,00E+05	N/A	±	N/A	_ Galaxie spirale intermédiaire	NGC 0253 , UGCA 013 , ESO 474- G 029 , ESO 004507-2533.9 , MCG -04-03-009	[1] [2] [6]
24					6,39	±	0,5	_ Galaxie lenticulaire de type SB0	NGC 1023, UGC 02154, ARP 135, CGCG 523-083, CGCG 0237.2+3851	[1] [2]
25		17,8	±	1,3	16,30	±	1,15	_ Galaxie spirale barrée _ Galaxie active de type Seyfert 1 _ LINER b	NGC 1097, UGCA 041, ESO 416- G 020, ESO 024411-3028.9, ARP 077	[1] [2]
26		70,8	±	5,2	72,37	±	5,08	_ Galaxie lenticulaire de type S0/a	NGC 1277, CGCG 540-104, CGCG 0316.6+4123, MCG +07-07-064, 2MASX J03195148+4134242	[1] [2]
27	1,86E+07	11,8	±	18,6	22,03	±	1,54	_ Galaxie spirale intermédiaire	NGC 1566, ESO 157- G 020, ESO 041853-5503.4, PKS 0418-550, 2MASX J04200041-5456161	[1] [2]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
28	NGC 2787	1788	Grande ourse		4,10E+07	0,00232 ± 0,00003	2,40E+07 ±
29	NGC 3079	1790	Grande ourse		2,40E+06 ± 2,40E+06 -1,20E+06	0,00372 ± 0	5,09E+07
30	NGC 3115	1787	Sextant		1,00E+09	0,00221 ± 0,00001	3,16E+07 ±
31	NGC 3245	1785	Petit lion			0,00442 ± 0,00002	6,03E+07
32	NGC 3377		Lion		8,00E+07 ± 5,00E+06 -6,00E+06	0,00222 ± 0,00001	
33	NGC 3384	1784	Lion		1,60E+07 ± 1,00E+06 -2,00E+06	0,00235 ± 0,00001	3,51E+07 ±
34	NGC 4261	1784	Vierge		4,00E+08	0,00738 ± 0,00002	9,60E+07 ±
35	NGC 4438		Vierge			0,00264 ± 0,00002	5,20E+07
36	NGC 4459	1787	hevelure de bérénice		7,00E+07	0,00398 ± 0,00002	5,25E+07
37	NGC 4473	1784	hevelure de bérénice		1,00E+08	0,00749 ± 0,00001	5,27E+07

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc]	±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
28	4,00E+06	7,5	±	1,2	11,35	±	0,81	_ Galaxie lentoculaire barrée _ LINER	NGC 2787, UGC 04914, CGCG 332-041, CGCG 0914.8+6925, MCG +12-09-039	[1] [2]
29		15,6	±	1,1	18,83	±	1,33	_ Galaxie spirale barrée _ LINER _ Galaxie active de type Seyfert 2	NGC 3079, UGC 05387, CGCG 266-008, CGCG 0958.5+5555, MCG +09-17-010	[1] [2]
30	1,30E+06	9,7	±	0,4	15,03	±	1,12	_ Galaxie lenticulaire de type S0	NGC 3115, UGCA 199, MCG -01-26-018, GIN 775, 2MASX J10051397-0743068	[1] [2]
31		18,5	±	1,3	23,92	±	1,7	_ Galaxie lenticulaire _ LINER	NGC 3245, UGC 05663, CGCG 154-017, CGCG 1024.5+2846, MCG +05-25-013	[1] [2]
32		11,2			14,89	±	1,1	_ Galaxie elliptique de type E5	NGC 3377, UGC 05899, CGCG 066-016, CGCG 1045.1+1415, MCG +02-28-009	[1] [2]
33	2,30E+06	10,8	±	0,7	15,51	±	1,14	_ Galaxie elliptique de type E7	NGC 3384, NGC 3371, UGC 05911, CGCG 066-021, CGCG 1045.7+1254	[1] [2]
34	8,00E+06	29,4	±	2,6	37,73	±	2,67	_ Galaxie elliptique de type E2-3	NGC 4261, UGC 07360, VCC 0345, CGCG 042-013, CGCG 1216.8+0606	[1] [2]
35		15,9			16,52	±	1,21	_ couple de galaxies _ AGN _ Galaxie lenticulaire	NGC 4435, UGC 07575, ARP 120 NED01, VCC 1030, VPC 0542	[1] [2]
36					22,4	±	1,61	_ Galaxie lenticulaire _ LINER	NGC 4459, UGC 07614, VCC 1154, VPC 0626, CGCG 070-116	[1] [2]
37					37,92	±	2,68	_ Galaxie elliptique de type E5	NGC 4473, UGC 07631, VCC 1231, VPC 0687, CGCG 070-125	[1] [2]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
38	NGC 4564	1784	Vierge		5,60E+07 ± 3,00E+06 -8,00E+06	0,00381 ± 0,00001	5,72E+07
39	NGC 4579	1779	Vierge		7,00E+07	0,00506 ± 0	6,00E+07
40	NGC 4596	1784			7,80E+07	0,00631 ± 0,00002	5,50E+07
41	NGC 4697		Vierge		1,30E+08 ± 1,80E+07 -1,70E+07	0,00414 ± 0,00001	38E6 - 50E6
42	NGC 4889	1785	evelure de bérénice		2,10E+10	0,02167 ± 0,00004	3,08E+08 ±
43	NGC 4945	1826	Centaure		1,40E+06 ± 1,40E+06 -7,00E+05	0,00188 ± 0,00001	1,17E+07
44	NGC 5033		Chiens de chasse			0,00292 ± 0	38E6 - 60E6
45	NGC 6251	1977	Petite ourse		5,90E+08 ± 2,00E+08	0,02471 ± 0,00007	3,40E+08
46	NGC 7052	1784	Petit renard		[22 - 63]E7	0,01558 ± 0,00003	2,00E+08
47	OJ 287	1891	Cancer		1,80E+10	0,3056 ± 0,0001	3,50E+09

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
38		17,55		21,68 ±	1,56	_ Galaxie elliptique de type E6	NGC 4564, UGC 07773, VCC 1664, VPC 1050, CGCG 070-186	[1] [2]
39		18,4		27,19 ±	1,93	_ Galaxie spirale barrée de type SBc _ LINER Sy1,9	MESSIER 058, NGC 4579, UGC 07796, VCC 1727, VPC 1119	[1] [2]
40		16,8		32,75 ±	2,32	_ Galaxie lenticulaire barrée	NGC 4596, UGC 07828, VCC 1813, CGCG 070-206, CGCG 1237.4+1027	[1] [2]
41				23,3 ±	1,67	_ Galaxie elliptique de type E6	NGC 4697, UGCA 300, MCG -01-33-010, GIN 796, 2MASX J12483590-0548030	[1] [2]
42	3,00E+06	94,43 ±	0,92	99,76 ±	6,99	_ Galaxie elliptique supergéante	NGC 4889, NGC 4884, UGC 08110, CGCG 160-241, CGCG 125742+2814.7	[1] [2]
43		3,6		11,92 ±	0,87	_ Galaxie spirale barrée _ Seyfert 2	NGC 4945, ESO 219- G 024, ESO 130231-4912.2, AM 1302-484, 2MFGC 10410	[1] [2]
44				16,27 ±	1,16	_ Galaxie spirale inclinée _ AGN _ Seyfert	NGC 5033, UGC 08307, CGCG 189-043, CGCG 1311.2+3651, MCG +06-29-062	[1] [2]
45				108,72 ±	7,62	_ Galaxie elliptique supergéante _ Radio galaxie _ Seyfert 2	NGC 6251, UGC 10501, CGCG 367-013, CGCG 1638.0+8239, CGCG 1638+8239	[1] [2]
46		61,3		64,33 ±	4,52	_ Galaxie elliptique de type E	NGC 7052, UGC 11718, CGCG 471-005, CGCG 2116.3+2614, MCG +04-50-006	[1] [2]
47				1355,26 ±	94,87	_ Quasar _ BL Lac	OJ +287, PG 0851+202, PG 0851+203, [HB89] 0851+202, PKS 0851+202	[1] [2]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
48	Q0906+6930	2004	Grande ourse		2,00E+09	5,47	1,23E+10
49	RX J1131	2014	Coupe				
50	Sagittarius A*	1974	Sagittaire		4,15E+06 ± 1,40E+04	N/A ± N/A	25900 ±
51	TON 618	1957	Chiens de chasse			2,219 ± N/A	1,04E+10
52	NGC 1194		Baleine		6,50E+07	0,01360 ± 0,00002	1,70E+08
53	NGC 1365		Fourneau		2,00E+06	0,00546 ± 0	5,60E+07
54	NGC 2778		Lynx		[9 - 36]E6	0,00683 ± 0,00001	7,60E+07
55	NGC 2960		Hydre		1,15E+07	0,01645 ± 0,00003	2,30E+08
56	NGC 3393	2004 - 2011	Hydre		3,10E+07	0,01251 ± 0,00002	1,65E+08
57	NGC 3585		Hydre		3,40E+08	0,00478 ± 0,00004	7,00E+07

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
48				_ Blazar	QSO B0901+6942, CLASS B0901+697, GB6 J0906+6930, QSO J0906+6930, BWE 0901+6942, GB6 B0901+6942, 87GB 090153.2+694215	[1]
49				_ Quasar	QSO J1131-1231, 2MASX J11315154-1231587	[1]
50	1,40E+03		N/A ± N/A	_ Radiosource	Sgr A*, LQAC 266-029 001, Sgr A, IERS B1742-289, VERA J1745-2900, Milky Way	[1] [2]
51			9815,82 ± 687,11	_ Quasar	FBQS J122824.9+312837, TON 0618, [HB89] 1225+317 NED02, B2 1225+31, WISE J122824.97+312837.6	[1] [2]
52		52	57,25 ± 4,01	_ Galaxie spirale _ Sy1 Sy2	NGC 1194, UGC 02514, CGCG 389-068, CGCG 0301.2-0117, MCG +00-08-078	[2] [3]
53		17,2	22,7 ± 1,59	_ Galaxie de type SB(s)b	NGC 1365, ESO 358- G 017, ESO 033141-3618.4, VV 825, MCG -06-08-026	[2] [3]
54		23	33,7 ± 2,37	_ Galaxie elliptique naine	NGC 2778, UGC 04840, CGCG 180-054, CGCG 0909.2+3513, MCG +06-20-043	[2] [3]
55		71	77,7 ± 5,45	_ Galaxie Sa? Sy3	NGC 2960, UGC 05159, MRK 1419, CGCG 035-026, CGCG 0938.0+0348, Markarian 1419	[2] [3]
56		50	60,48 ± 4,25	_ Galaxie spirale active _ Radiogalaxie	NGC 3393, ESO 501- G 100, ESO 104600-2453.8, AM 1045-245, MCG -04-26-011	[2] [3]
57		21	26,3 ± 1,88	_ Galaxie lenticulaire E7/S0	NGC 3585, ESO 502- G 025, ESO 111050-2629.0, AM 1110-262, MCG -04-27-004	[2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
58	NGC 3607		Lion		1,25E+08	0,00314 ± 0,00002	6,50E+07
59	NGC 3608		Lion		2,10E+08	0,00409 ± 0,00002	7,50E+07
60	NGC 3842		Lion		9,70E+09	0,02107 ± 0,00003	3,20E+08
61	NGC 3862		Lion			0,02172 ± 0,00002	2,60E+08
62	NGC 3945		Grande ourse		9,00E+06	0,00427 ± 0,00002	6,50E+07
63	NGC 4026		Grande ourse		2,10E+08	0,00329 ± 0,00002	5,00E+07
64	NGC 4061		Chevelure de bérénice		[1 - 9]E9	0,02403 ± 0,00009	3,25E+08
65	NGC 4178		Vierge		moins de 2E5	0,00125 ± 0	5,50E+07
66	NGC 4335		Grande ourse		1,00E+08	0,01542 ± 0,00007	2,15E+08
67	NGC 4342		Vierge		3,00E+08	0,00254 ± 0,00002	7,50E+07

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
58		19,9		18,85	±	1,37	_ Galaxie elliptique _ SA(s)0^0^: AGN2	NGC 3607, UGC 06297, CGCG 096-021, CGCG 1114.3+1819, MCG +03-29-020	[2] [3]
59				23,03	±	1,65	_ Galaxie elliptique de type E2 _ LINER	NGC 3608, UGC 06299, CGCG 096-022, CGCG 1114.4+1825, MCG +03-29-022	[2] [3]
60		98		97,99	±	6,87	_ Galaxie elliptique géante _ E _ BrClG	NGC 3842, UGC 06704, CGCG 097-095, CGCG 1141.4+2013, MCG +03-30-072	[2] [3]
61				100,87	±	7,07	_ LERG LINER _ E	NGC 3862, UGC 06723, CGCG 097-127, CGCG 1142.5+1953, MCG +03-30-095	[2] [3]
62		19,9		20,93	±	1,47	_ Galaxie lenticulaire _ SB(rs)0+ LINER	NGC 3945, UGC 06860, CGCG 292-042, CGCG 1150.5+6056, MCG +10-17-096	[2] [3]
63		15,6		17,36	±	1,23	_ Galaxie lenticulaire _ S0 (edge-on)	NGC 4026, UGC 06985, CGCG 269-029, CGCG 1156.8+5115, MCG +09-20-052	[2] [3]
64		100		110,98	±	7,79	_ Galaxie elliptique de type E	NGC 4061, NGC 4055, UGC 07044, VV 179b, CGCG 098-040	[2] [3]
65		16,9		10,54	±	0,82	_ Galaxie spirale _ SB(rs)dm HII	NGC 4178, IC 3042, UGC 07215, VCC 0066, CGCG 069-088	[2] [3]
66		66		70,31	±	4,93	_ Galaxie elliptique géante de type E	NGC 4335, UGC 07455, CGCG 293-015, CGCG 1220.6+5844, MCG +10-18-035	[2] [3]
67		23		16,27	±	1,19	_ Galaxie lenticulaire _ S0^- (edge-on)	NGC 4342, IC 3256, UGC 07466, ARK 361, VCC 0657	[2] [3]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
68	NGC 4388		Vierge		8,50E+06	0,00842 ± 0	6,20E+07
69	NGC 4486b	1990	Vierge		5,00E+08	0,00519 ± 0,00001	5,50E+07
70	NGC 541		Baleine			0,01809 ± 0,00002	2,16E+08
71	NGC 5576	2009	Vierge		1,80E+08	0,00502 ± 0,00002	9,00E+07
72	NGC 6240		Ophiuchus		[870 - 2000]E6	0,02448 ± 0,00003	3,20E+08
73	NGC 7457		Pégase		[2,1 - 4,6]E6	0,00281 ± 0,00002	4,30E+07
74	NGC 821		Bélier		[50 - 100]E6	0,00579 ± 0,00001	1,00E+08
75	RX J1442-11	2002	Vierge		1,00E+08	±	7,00E+08
76	SDSSJ0927+2943	2000	Lion		6,00E+08	0,71303 ± 0,00035	6,50E+09
77	ULAS J1120-0641	2010	Lion		2,00E+09	±	28,85E9 (co-moving) ou 12,9E9 (light travel time)
78	Mrk 335			7,23 ± 4,20E-02 0,044	1,70E+07 ± 1,10153931 1,106623784	0,02578 ± 0,00006	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc ± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
68		19	42,11 ± 2,97	_ Galaxie spirale _ SA(s)b: sp _ Sy2 Sy1.9	NGC 4388, UGC 07520, VCC 0836, VPC 0438, CGCG 070-068	[2] [3]
69		17	27,79 ± 1,98	_ Galaxie elliptique naine _ compact E0	NGC 4486B, UGCA 283, I Zw 038, VCC 1297, VPC 0755	[2] [3]
70		67	75,46 ± 5.29	_ cD _ S0-:	NGC 0541, UGC 01004, ARP 133, CGCG 385-128, CGCG 0123.2-0137	[2] [3]
71		27	25,85 ± 1.83	_ Galaxie elliptique de type E3	NGC 5576, UGC 09183, CGCG 047-020, CGCG 1418.5+0330, MCG +01-37-007	[2] [3]
72		98	108,67 ± 7.61	_ I0: pec _ LINER Sy2	NGC 6240, IC 4625, UGC 10592, VV 617, CGCG 025-011	[2] [3]
73		13,2	7,42 ± 0.63	_ Galaxie lenticulaire _ SA(rs)0-?	NGC 7457, UGC 12306, CGCG 496-032, CGCG 2258.6+2953, MCG +05-54-026	[2] [3]
74		24,1	21,63 ± 1.54	_ Galaxie elliptique E6?	NGC 0821, UGC 01631, CGCG 438-033, CGCG 0205.7+1045, MCG +02-06-034	[2] [3]
75				_ Galaxie		[3]
76		2,00E+03	3156,71 ± 220,98	_ Quasar	SDSS J0927+2943, SDSS J092712.64+294344.0, SDSS J092712.65+294344.0, SDSS J092712.65+294344.1, GALEX 2736968124182037807	[2] [3]
77		8,85E3 (co-moving) ou 4,0E3 (light travel time)		_ Quasar		[1] [3]
78			108,83 ± 7,63	_ Galaxie active (AGN)	KUG 0003+199 , PG 0003+199 , [HB89] 0003+199 , 2MASX J00061958+2012105	[2] [4]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$]	±	+ ξ_{rr} [$M_\odot$]	- ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$]	±	ξrr pos [$M_\odot$]	ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z	±2	ξrr z	Distance [ly]	±
79	Mrk 1501			8,067	±	1,19E-01	0,165	1,17E+08	±	1,315224832	1,462177174	0,08934	±	N/A		
80	PG 0026+129			8,487	±	9,60E-02	0,119	3,07E+08	±	1,247383514	1,315224832	0,14200	±	N/A		
81	PG 0052+251			8,462	±	8,30E-02	0,094	2,90E+08	±	1,210598134	1,241652308	0,15445	±	0,00001		
82	Fairall9			8,299	±	7,80E-02	0,116	1,99E+08	±	1,196740531	1,306170888	0,04702	±	0,00007		
83	Mrk 590			7,57	±	6,20E-02	0,074	3,72E+07	±	1,153453258	1,185768748	0,02638	±	0,00004		
84	Mrk 1044											0,01645	±	0,00004		
85	3C 120			7,745	±	3,80E-02	0,04	5,56E+07	±	1,091440336	1,096478196	0,03301	±	0,00003		
86	H0507+164			6,876	±	7,40E-02	0,424	7,52E+06	±	1,185768748	2,654605562	0,01788	±	0,00008		
87	Mrk6			8,102	±	3,70E-02	0,041	1,26E+08	±	1,088930093	1,099005839	0,01881	±	0,00003		
88	Mrk 79			7,612	±	1,07E-01	0,136	4,09E+07	±	1,279381304	1,367728826	0,02219	±	0,00003		
89	Mrk 382											0,03369	±	0,00005		
90	PG 0804+761			8,735	±	4,80E-02	0,053	5,43E+08	±	1,116863248	1,129795915	0,10000	±	N/A		
91	S5 0836+71											2,17200	±	0,00100		
92	PG 0844+349			7,858	±	1,54E-01	0,23	7,21E+07	±	1,425607594	1,698243652	0,06400	±	N/A		
93	Mrk 110			7,292	±	1,01E-01	0,097	1,96E+07	±	1,261827535	1,25025903	0,03529	±	0,00002		
94	PG 0953+414			8,333	±	8,20E-02	0,108	2,15E+08	±	1,207813835	1,282330583	0,23410	±	0,00040		
95	NGC 3227			6,775	±	8,40E-02	0,112	5,96E+06	±	1,21338885	1,294195841	0,00386	±	0,00001		

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
79				389,74	±	27,28	_ Galaxie active (AGN)	MRK 9007, III Zw 002A , III Zw 002 NOTES01 , CGPG 0008.0+1042 NED01 , PG0007+106	[2] [4]
80				622,74	±	43,59	_ Galaxie active (AGN)	[HB89] 0026+129 , 2MASS J00291369+1316038 , 2MASSi J0029136+131603 , GALEXASC J002913.69+131604.6	[2] [4]
81				678,23	±	47,48	_ Galaxie active (AGN)	PG 0052+252 , [HB89] 0052+251 , 2MASS J00545212+2525391 , 2MASSi J0054521+252538	[2] [4]
82				206,1	±	14,43	_ Galaxie active (AGN)	ESO 113-IG 045 , ESO 012151-5903.9 , AM 0121-590 , [HB89] 0121-590	[2] [4]
83				112,88	±	7,91	_ Galaxie active (AGN)	NGC 0863 , NGC 0866 , NGC 0885 , UGC 01727	[2] [4]
84				69,36	±	4,86	_ Galaxie active (AGN)	KUG 0227-092 , MCG -02-07-024 , 2MASX J02300554-0859535 , 2MASS J02300552-0859532	[2] [4]
85				144,99	±	10,15	_ Galaxie active (AGN)	BW Tau , UGC 03087 , MRK 1506 , MRK 9014	[2] [4]
86				78,84	±	5,53	_ Galaxie active (AGN)	GALEXASC J051045.55+162958.9 , IRAS 05078+1626 , IRAS F05078+1626 , AKARI J0510453+162958 , LQAC 077+016 001	[2] [4]
87				83,16	±	5,82	_ Galaxie active (AGN)	IC 0450 , UGC 03547 , KUG 0645+744 , CGCG 330-017	[2] [4]
88				99,75	±	6,98	_ Galaxie active (AGN)	UGC 03973 ,KUG 0738+499 , CGCG 235-030 , CGCG 0738.8+4955	[2] [4]
89				151,29	±	10,59	_ Galaxie active (AGN)	KUG 0752+393 , CGCG 207-005 , CGCG 0752.0+3919 , MCG +07-17-001	[2] [4]
90				442,45	±	30,97	_ Galaxie active (AGN)	PG 0804+762 , [HB89] 0804+761 , 2MASS J08105865+7602424 , 2MASSi J0810586+760242	[2] [4]
91				9604,75	±	672,35	_ Galaxie active (AGN)	[HB89] 0836+710 , 4C +71.07 , WISE J084124.35+705342.2 , 2MASS J08412435+7053419 , 2MASSi J0841243+705342	[2] [4]
92				286,22	±	20,04	_ Galaxie active (AGN)	PG 0844+349 ID , TON 0951 , 2MASXi J0847424+344504 , 2MASS J08474244+3445044	[2] [4]
93				158,49	±	11,1	_ Galaxie active (AGN)	SBS 0921+525 , KUG 0921+525 , PG 0921+525 , 2MASX J09251286+5217102	[2] [4]
94				1038,55	±	72,72	_ Galaxie active (AGN)	PG 0953+415 , [HB89] 0953+414 , 2MASS J09565240+4115221 , 2MASSi J0956524+411522	[2] [4]
95				21,83	±	1,56	_ Galaxie active (AGN)	UGC 05620 , ARP 094 NED02 , VV 209a , CGCG 094-028	[2] [4]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$]	±	+ ξ_{rr} [$M_\odot$]	- ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$]	±	ξrr pos [$M_\odot$]	ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z	±2	ξrr z	Distance [ly]	±
96	Mrk 142			6,294	±	9,00E-02	0,104	1,97E+06	±	1,230268771	1,270574105	0,04494	±	0,00015		
97	NGC 3516			7,395	±	3,70E-02	0,061	2,48E+07	±	1,088930093	1,150800389	0,00884	±	0,00002		
98	SBS1116+583A			6,558	±	8,10E-02	0,088	3,61E+06	±	1,20503594	1,224616199	0,02787	±	0,00120		
99	Arp151			6,67	±	4,50E-02	0,054	4,68E+06	±	1,109174815	1,132400363	0,02109	±	0,00003		
100	NGC 3783			7,371	±	7,70E-02	0,076	2,35E+07	±	1,193988104	1,191242008	0,00973	±	0,00001		
101	MCG+06-26-012											0,03275	±	0,00012		
102	SDSS J1139+3355											0,03275				
103	Mrk 1310			6,212	±	7,10E-02	0,089	1,63E+06	±	1,177605974	1,227439231	0,01956	±	0,00001		
104	NGC 4051			6,13	±	1,21E-01	0,155	1,35E+06	±	1,321295634	1,428893959	0,00234	±	0,00000		
105	NGC 4151	1787	Chiens de chasse	7,555	±	5,10E-02	0,047	3,59E+07	±	1,124604974	1,114294534	0,00332	±	0,00001	6,20E+07	
106	PG 1211+143											0,08090	±	0,00050		
107	Mrk 202			6,133	±	1,66E-01	0,173	1,36E+06	±	1,465547841	1,489361078	0,02101	±	0,00037		
108	NGC 4253		Chevelure de bérénice	6,822	±	5,00E-02	0,057	6,64E+06 (mth Log) ou 2,00E7	±	1,122018454	1,140249788	0,01293	±	0,00005	1,70E+08	
109	Mrk 50			7,422	±	5,70E-02	0,068	2,64E+07	±	1,140249788	1,169499391	0,02343	±	0,00024		
110	NGC 4395		Chiens de chasse	5,449	±	1,30E-01	0,145	2,81E+05(mth Log) ou 3,60E5	±	1,348962883	1,396368361	0,00106	±	0,00000	1,40E+07	
111	PG 1226+023	1950	Vierge	8,839	±	7,70E-02	0,113	6,9E8 (mth Log) ou 1,00E9	±	1,193988104	1,297179271	0,15834	±	0,00007	2,40E+09	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
96				201,51	±	14,12	_ Galaxie active (AGN)	SBS 1022+519 , PG 1022+519 , 2MASX J10253130+5140351 , 2MASS J10253128+5140348	[2] [4]
97				40,06	±	2,81	_ Galaxie active (AGN)	UGC 06153 , CGCG 334-011 , CGCG 1103.3+7249 , MCG +12-11-009	[2] [4]
98				125,55	±	10,28	_ Galaxie active (AGN)	CGCG 291-051 , CGCG 1116.0+5820 , MCG +10-16-111 , BRK 009	[2] [4]
99				95,88	±	6,72	_ Galaxie active (AGN)	VV 144 , MRK 0040 , Mrk40 , SBS 1122+546B , I Zw 026	[2] [4]
100				47,7	±	3,35	_ Galaxie active (AGN)	ESO 378- G 014 , ESO 113633-3727.7 , MCG -06-26-004 , TOLOLO 00055	[2] [4]
101				148,93	±	10,44	_ Galaxie active (AGN)	KUG 1136+342 , CGCG 186-018 , CGCG 1136.6+3412 , 2MASX J11391391+3355505	[2] [4]
102							_ Galaxie active (AGN)		[4]
103				91,83	±	6,44	_ Galaxie active (AGN)	CGCG 013-024 , CGCG 1158.7-0323 , 2MASX J12011434-0340410 , 2MASXi J1201143-034041	[2] [4]
104				13,64	±	0,98	_ Galaxie active (AGN)	UGC 07030 , CGCG 243-038 , CGCG 1200.6+4448 , MCG +08-22-059	[2] [4]
105		19		18,31	±	1,31	_ Galaxie active (AGN)	UGC 07166 , KUG 1208+396A , CGCG 215-045 , CGCG 1208.0+3941	[1] [2] [4]
106				362,63	±	25,48	_ Galaxie active (AGN)	2MASS J12141768+1403129 , GALEXASC J121417.65+140313.1 , GALEXMSC J121417.70+140313.2 , LQAC 183+014 011	[2] [4]
107				95,06	±	6,85	_ Galaxie active (AGN)	SBS 1215+589 , CGCG 293-009 , CGCG 1215.5+5855 , 2MASX J12175500+5839350	[2] [4]
108		98		61,35	±	4,31	_ Galaxie active (AGN) _ Galaxie spirale _ (R')SB(s)a: Sy1.5	UGC 07344 , MRK 0766 , KUG 1215+300 , CGCG 158-061	[2] [3] [4]
109				108,75	±	7,69	_ Galaxie active (AGN)	2MASX J12232410+0240449 , 2MASS J12232412+0240445 , SDSS J122324.13+024044.4 , SDSS J122324.14+024044.4	[2] [4]
110		4,3		8,63	±	0,66	_ Galaxie active (AGN) _ Galaxie spirale _ AGN _ SA(s)m: _ LINER Sy1.8	UGC 07524 , KUG 1223+338 , CGCG 187-042 , CGCG 1223.4+3349	[2] [3] [4]
111		765		705,23	±	49,37	_ Galaxie active (AGN) _ Quasar	3C 273 , [HB89] 1226+023 , 4C +02.32 , PKS 1226+02	[2] [3] [4]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$]	±	+ ξ_{rr} [$M_\odot$]	- ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$]	±	ξrr pos [$M_\odot$]	ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z	±2	ξrr z	Distance [ly]	±
112	PG 1229+204			7,758	±	1,75E-01	0,219	5,73E+07	±	1,496235656	1,655769963	0,06301	±	0,00015		
113	NGC 4593			6,882	±	8,40E-02	0,104	7,62E+06	±	1,21338885	1,270574105	0,00900	±	0,00013		
114	WAS61											0,04351	±	0,00129		
115	PG 1247+267											2,03800	±	N/A		
116	NGC 4748			6,407	±	1,10E-01	0,183	2,55E+06	±	1,288249552	1,524052754	0,01463	±	0,00011		
117	PG 1307+085			8,537	±	9,40E-02	0,161	3,44E+08	±	1,241652308	1,448771854	0,15500	±	N/A		
118	NGC 5273			6,66	±	1,25E-01	0,19	4,57E+06	±	1,333521432	1,548816619	0,00362	±	0,00002		
119	Mrk 279			7,435	±	9,90E-02	0,133	2,72E+07	±	1,256029964	1,358313447	0,03045	±	0,00008		
120	PG 1411+442			8,539	±	1,25E-01	0,169	3,46E+08	±	1,333521432	1,475706533	0,08960	±	0,00050		
121	NGC 5548			7,718	±	1,60E-02	0,016	5,22E+07	±	1,037528416	1,037528416	0,01717	±	0,00002		
122	PG 1426+015			9,007	±	1,06E-01	0,164	1,02E+09	±	1,276438809	1,45881426	0,08657	±	0,00004		
123	Mrk 817			7,586	±	6,40E-02	0,072	3,85E+07	±	1,158777356	1,180320636	0,03145	±	0,00012		
124	NGC 5940											0,03393	±	0,00007		
125	Mrk 486											0,03893	±	0,00009		
126	Mrk 493											0,03133	±	0,00012		
127	PG 1613+658			8,339	±	1,64E-01	0,271	2,18E+08	±	1,45881426	1,866379691	0,12900	±	0,00067		

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
112			283,17 ± 19,84	_ Galaxie active (AGN)	MRK 0771 , ARK 374 , KUG 1229+204 , CGCG 099-079 , CGCG 1229.5+2025	[2] [4]
113			44,87 ± 3,21	_ Galaxie active (AGN)	MRK 1330 , MCG -01-32-032 , 2MASX J12393949-0520391 , 2MASXi J1239394-052039	[2] [4]
114			196,23 ± 14,88	_ Galaxie active (AGN)	SDSS J124210.60+331702.6 , SDSS J124210.61+331702.6 , IRAS F12397+3333 , IRAS-L 12397+3333	[2] [4]
115			9015,59 ± 631,09	_ Galaxie active (AGN)	PG 1247+268 , [HB89] 1247+267 , WISE J125005.70+263107.0 , 2MASS J12500572+2631075	[2] [4]
116			69,63 ± 4,91	_ Galaxie active (AGN)	MCG -02-33-034 , 2MASX J12521245-1324528 , 2MASXi J1252124-132453 , 2MASS J12521245-1324530	[2] [4]
117			689,95 ± 48,3	_ Galaxie active (AGN)	PG 1307+086 , [HB89] 1307+085 , 2MASS J13094699+0819482 , SDSS J130947.00+081948.2	[2] [4]
118			19,11 ± 1,36	_ Galaxie active (AGN)	UGC 08675 , CGCG 190-041 , CGCG 1339.8+3554 , MCG +06-30-072	[2] [4]
119			135,49 ± 9,49	_ Galaxie active (AGN)	UGC 08823 , KUG 1351+695 , CGCG 336-028 , CGCG 1351.8+6934	[2] [4]
120			398,47 ± 27,98	_ Galaxie active (AGN)	2MASS J14134834+4400141 , 2MASSi J1413483+440014 , SDSS J141348.33+440013.9 , GALEXASC J141348.39+440013.1	[2] [4]
121			79,05 ± 5,54	_ Galaxie active (AGN)	UGC 09149 , MRK 1509 , MRK 9027 , KUG 1415+253	[2] [4]
122			386,32 ± 27,04	_ Galaxie active (AGN)	PG 1426+015 , 2MASX J14290655+0117064 , 2MASS J14290657+0117062 , SDSS J142906.57+011706.0	[2] [4]
123			140,28 ± 9,83	_ Galaxie active (AGN)	UGC 09412 , SBS 1434+590 , CGCG 296-015 , CGCG 1434.9+5901	[2] [4]
124			152,23 ± 10,66	_ Galaxie active (AGN)	UGC 09876 , MRK 1511 , MRK 9030 , CGCG 050-007	[2] [4]
125			172,89 ± 12,11	_ Galaxie active (AGN)	SBS 1535+547 , I Zw 121 NOTES01 , CGPG 1535.3+5443 NED01 , PG 1535+547	[2] [4]
126			139,53 ± 9,78	_ Galaxie active (AGN)	UGC 10120 , CGCG 195-003 , CGCG 1557.3+3510 , MCG +06-35-017	[2] [4]
127			570,36 ± 40,03	_ Galaxie active (AGN)	MRK 0876 , PRC D-27 , [HB89] 1613+658 , 2MASX J16135722+6543096	[2] [4]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$]	±	+ ξ_{rr} [$M_\odot$]	- ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$]	±	ξrr pos [$M_\odot$]	ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z	±2	ξrr z	Distance [ly]	±
128	PG 1617+175			8,667	±	8,40E-02	0,128	4,65E+08	±	1,21338885	1,342764961	0,11244	±	0,00033		
129	Arp102B											0,02417	±	0,00011		
130	3C 390.3			8,638	±	4,00E-02	0,046	4,35E+08	±	1,096478196	1,111731727	0,05610	±	N/A		
131	1RXS J1858+4850			6,705	±	6,70E-02	0,081	5,07E+06	±	1,166809617	1,20503594	0,07900				
132	Zw229-015			6,913	±	7,50E-02	0,119	8,18E+06	±	1,188502227	1,315224832	0,02788	±	0,00007		
133	NGC 6814			7,038	±	5,60E-02	0,058	1,09E+07	±	1,137627286	1,142878335	0,00521	±	0,00001		
134	Mrk 509			8,049	±	3,50E-02	0,035	1,12E+08	±	1,083926914	1,083926914	0,03440	±	0,00004		
135	PG 2130+099			7,433	±	5,50E-02	0,063	2,71E+07	±	1,135010816	1,156112242	0,06298	±	0,00010		
136	NGC 1068			7,23				1,70E+07				0,00379	±	0,00001		
137	NGC 4258			7,62				4,17E+07				0,00149	±	0,00001		
138	Ark 120			8,068	±	4,80E-02	0,063	1,17E+08	±	1,116863248	1,156112242	0,03271	±	0,00006		
139	F9			7,91				8,13E+07				0,047				
140	IC 4329A			6,77				5,89E+06				0,01605	±	0,00005		
141	NGC 7469			6,956	±	4,80E-02	0,05	9,04E+06	±	1,116863248	1,122018454	0,01632	±	0,00001		
142	PG 1351+640			8,48				3,02E+08				0,0882	±	0,0001		
143	PG 1700+518			8,786	±	9,10E-02	0,103	6,11E+08	±	1,233104833	1,267651866	0,29200	±	N/A		
144	PG 1704+608			8,23				1,70E+08				0,37194	±	0,00012		

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
128			498,13	± 34,9	_ Galaxie active (AGN)	MRK 0877 , [HB89] 1617+175 , 2MASS J16201127+1724276 , 2MASSi J1620112+172427	[2] [4]
129			106,25	± 7,45	_ Galaxie active (AGN)	UGC 10814 NOTES01 , CGCG 252-040 , CGCG 1717.9+4901 , MCG +08-31-041	[2] [4]
130			247,03	± 17,29	_ Galaxie active (AGN)	VII Zw 838 , CGPG 1845.5+7943 , 4C +79.18 , 2MASX J18420899+7946170	[2] [4]
131				±	_ Galaxie active (AGN)	KIC011178007	[2] [4]
132			120,92	± 8,47	_ Galaxie active (AGN)	KIC 006932990 , CGCG 229-015 , CGCG 1903.9+4223 , 2MASX J19052592+4227398 , 2MASXi J1905259+422739	[2] [4]
133			19,91	± 1,41	_ Galaxie active (AGN)	MCG -02-50-001 , 2MASX J19424057-1019255 , IRAS 19399-1026 , IRAS F19398-1026	[2] [4]
134			147,95	± 10,36	_ Galaxie active (AGN)	2MASX J20440975-1043245 , 2MASS J20440975-1043246 , 2MASSi J2044097-104324 , GALEXASC J204409.71-104324.3	[2] [4]
135			273,5	± 19,15	_ Galaxie active (AGN)	MRK 1513 , MRK 9001 , II Zw 136 , CGPG 2130.0+0956	[2] [4]
136			13,48	± 0,97	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MESSIER 077 , UGC 02188 , ARP 037 , KUG 0240-002	[2] [5]
137			9,64	± 0,71	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MESSIER 106 , UGC 07353 , VV 448 , CGCG 243-067	[2] [5]
138			144,75	± 10,14	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1) _ Galaxie active (AGN)	UGC 03271 , MRK 1095 , CGCG 395-023 , Arn 120, CGCG 0513.6-0012	[2] [4] [5]
139					_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)		[2] [5]
140			74,95	± 5,26	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)	ESO 445- G 050 , ESO 134628-3003.7 , MCG -05-33-021 , 2MASX J13491927-3018338	[2] [5]
141			66,68	± 4,68	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1) _ Galaxie active (AGN)	UGC 12332 , ARP 298 NED01 , MRK 1514 , MRK 9003	[2] [4] [5]
142			391,23	± 27,39	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 1351+640 , 2MASS J13531582+6345456 , SDSS J135315.83+634545.6 , GALEXASC J135315.87+634545.5	
143			1290,77	± 90,35	_ Radio quiet quasar (RQQ) _ Galaxie active (AGN)	[HB89] 1700+518 , SBS 1700+518 , RIQ J1701+5149 , PG 1700+518 , PG 1700+519	[2] [4] [5]
144			1644,12	± 115,09	_ Radio loud quasar (RLQ)	SBS 1704+608 , 3C 351 , [HB89] 1704+608 , 4C +60.24	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
145	Mrk 841			8,10	1,26E+08	0,03642 ± 0,00012	
146	0054+144			8,90	7,94E+08	0,17178 ± 0,00027	
147	0157+001			7,70	5,01E+07	0,16311 ± 0,00002	
148	0204+292			6,67	4,68E+06	0,109	
149	0205+024			7,86	7,24E+07	0,15554 ± 0,00044	
150	0244+194			8,03	1,07E+08	0,176	
151	0923+201			8,94	8,71E+08	0,19214 ± 0,00334	
152	1012+008			7,79	6,17E+07	0,18674 ± 0,00013	
153	1029-140			9,08	1,20E+09	0,086	
154	1116+215			8,21	1,62E+08	0,1765 ± 0,0004	
155	1202+281			8,29	1,95E+08	0,18674 ± 0,00013	
156	1309+355			8,00	1,00E+08	0,18292 ± 0,00164	
157	1402+261			7,29	1,95E+07	0,164 ± N/A	
158	1444+407			8,06	1,15E+08	0,26703 ± 0,00036	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
145				11103	±	38	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)	PG 1501+106 , 2MASX J15040117+1026164 , 2MASS J15040120+1026159 , SDSS J150401.19+102615.7	[2] [5]
146				51168	±	85	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 0054+144 , 2MASS J00570992+1446102 , 2MASSi J0057099+144610 , SDSS J005709.92+144610.1 , SDSS J005709.93+144610.2	[2] [5]
147				48625	±	20	_ Radio quiet quasar (RQQ)	MRK 1014 , UM 385 , KUG 0157+001 , PG 0157+001 , PG 0157+002	[2] [5]
148							_ Radio quiet quasar (RQQ)		[5]
149				46363	±	132	_ Radio quiet quasar (RQQ)	MRK 0586 , UM 397 , KUG 0205+024 , [HB89] 0205+024 , 2MASS J02074985+0242560	[2] [5]
150							_ Radio quiet quasar (RQQ)		[5]
151				853,94	±	61,58	_ Radio quiet quasar (RQQ)	PG 0923+201 , TON 1057 , [HB89] 0923+201 , 2MASS J09255471+1954050 , 2MASSi J0925547+195405	[2] [5]
152				830,97	±	58,17	_ Radio quiet quasar (RQQ)	PG 1012+008 , [HB89] 1012+008 , 2MASX J10145490+0033375 , 2MASS J10145491+0033374 , SDSS J101454.90+003337.3	[2] [5]
153							_ Radio quiet quasar (RQQ)		[5]
154				785,25	±	55	_ Radio quiet quasar (RQQ)	PG 1116+215 , PG 1116+216 , TON 1388 , [HB89] 1116+215 , 2MASS J11190868+2119179	[2] [5]
155				830,97	±	58,17	_ Radio quiet quasar (RQQ)	GQ Com , PG 1202+281 , PG 1202+282 , [HB89] 1202+281 , 2MASS J12044210+2754117	[2] [5]
156				812,29	±	57,32	_ Radio quiet quasar (RQQ)	FBQS J131217.7+351521 , RIQ J1312+3515 , PG 1309+355 , TON 1565 , [HB89] 1309+355	[2] [5]
157				728,43	±	50,99	_ Radio quiet quasar (RQQ)	FBQS J1405+2555 , FBQS J140516.1+255534 , PG 1402+261 , PG 1402+262 , TON 0182	[2] [5]
158				1182,74	±	82,81	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 1444+407 , PG 1444+407 , PG 1444+408 , 2MASS J14464593+4035057 , 2MASSi J1446459+403505	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
159	1635+119			8,10	1,26E+08	0,14748 ± 0,00004	
160	0022-297			7,91	8,13E+07	0,40645 ± 0,00002	
161	0024+348			6,37	2,34E+06	0,333 ± 0,003	
162	0056-001			8,71	5,13E+08	0,71902 ± 0,00033	
163	0110+495			8,34	2,19E+08	0,389 ± 0,001	
164	0114+074			6,80	6,31E+06	0,343	
165	0119+041			8,38	2,40E+08	0,637 ± N/A	
166	0133+207			9,52	3,31E+09	0,425 ± N/A	
167	0133+476			8,73	5,37E+08	0,859 ± N/A	
168	0134+329			8,74	5,50E+08	0,367 ± N/A	
169	0135-247			9,13	1,35E+09	0,83754 ± 0,00015	
170	0137+012			8,57	3,72E+08	0,26168 ± 0,00001	
171	0153-410			7,56	3,63E+07	0,226 ± N/A	
172	0159-117			9,27	1,86E+09	0,67053 ± 0,00015	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
159				652,77	±	45,69	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 1635+119 , MC 1635+119 , 2MASS J16374649+1149493 , SDSS J163746.50+114949.2 , GALEXASC J163746.48+114949.4	[2] [5]
160				1793,04	±	125,51	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0021-29 , 2MASS J00243014-2928542 , GALEXASC J002430.12-292854.6 , 6dF J0024301-292855 , LQAC 006-029 007	[2] [5]
161				1467,84	±	103,6	_ Radio loud quasar (RLQ)	B2 0024+34 , LQAC 006+035 004 , MG3 J002641+3509 , 87GB 002403.2+345136 , 87GB[BWE91] 0024+3451	[2] [5]
162				3174,44	±	222,22	_ Radio loud quasar (RLQ)	LBQS 0056-0009 , FBQS J0059+0006 , [HB89] 0056-001 , 4C -00.06 , PKS 0056-00	[2] [5]
163				1716,52	±	120,24	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J011327.00+494824.0 , WISE J011327.01+494824.0 , 2MASS J01132709+4948237 , LQAC 018+049 001 , CGRaBS J0113+4948	[2] [5]
164							_ Radio loud quasar (RLQ)		[5]
165				2812,02	±	196,84	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0119+041 , PKS 0119+041 , WISE J012156.86+042224.6 , GALEXASC J012156.80+042225.4 , GALEXMSC J012156.84+042226.2	[2] [5]
166				1874,89	±	131,24	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 047 , [HB89] 0133+207 , 4C +20.07 , PKS 0133+20 , 2MASS J01362442+2057275	[2] [5]
167				3794,82	±	265,64	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0133+476 , WISE J013658.57+475129.2 , WISE J013658.58+475129.2 , 2MASS J01365859+4751291 , 2MASSi J0136585+475129	[2] [5]
168				1618,75	±	113,31	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 048 , [HB89] 0134+329 , 4C +32.08 , B2 0134+32 , WISE J013741.30+330935.0	[2] [5]
169				3699,66	±	258,98	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0135-247 , PKS 0135-247 , WISE J013738.34-243053.8 , WISE J013738.34-243053.9 , 2MASS J01373834-2430541	[2] [5]
170				1152,72	±	80,69	_ Radio loud quasar (RLQ)	UM 355 , [HB89] 0137+012 , 4C +01.04 , PKS 0137+012 , WISE J013957.30+013146.1	[2] [5]
171				996,64	±	69,76	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0153-410 , LQAC 028-040 023 , APMUKS(BJ) B015331.15-410322.4 , MRSS 297-023949 , LEDA 2822853	[2] [5]
172				2961,09	±	207,28	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 057 , [HB89] 0159-117 , PKS 0159-11 , WISE J020157.18-113233.5 , 2MASS J02015718-1132334	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
173	0210+860			6,54	3,47E+06	0,18781 ± N/A	
174	0221+067			7,29	1,95E+07	0,511 ± N/A	
175	0237-233			8,52	3,31E+08	2,223 ± N/A	
176	0327-241			8,60	3,98E+08	0,895 ± 0,001	
177	0336-019			8,98	9,55E+08	0,852 ± N/A	
178	0403-132			9,07	1,17E+09	0,57055 ± 0,0001	
179	0405-123			9,47	2,95E+09	0,57259 ± 0,00015	
180	0420-014			9,03	1,07E+09	0,91609 ± 0,00018	
181	0437+785			8,79	6,17E+08	0,454	
182	0444+634			8,53	3,39E+08	0,781 ± 0,003	
183	0454-810			8,13	1,35E+08	0,444 ± N/A	
184	0454+066			7,42	2,63E+07	0,405 ± N/A	
185	0502+049			8,88	7,59E+08	0,954 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
173				829,54	±	58,07	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 061.1 , [HB89] 0210+860 , GALEXASC J022235.37+861905.3 , LEDA 2832137 , SSTSL2 J022234.68+861906.3	[2] [5]
174				2255,82	±	157,91	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0221+067 , 4C +06.11 , PKS 0221+067 , WISE J022428.42+065923.2 , 2MASS J02242841+0659232	[2] [5]
175				9826,67	±	687,87	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0237-233 , PKS 0237-23 , PKS 0237-233 , WISE J024008.10-230915.0 , WISE J024008.17-230915.7	[2] [5]
176				3955,57	±	276,93	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0327-241 , WISE J032954.07-235708.8 , GALEXASC J032954.12-235709.3 , LQAC 052-023 002 , CGRaBS J0329-2357	[2] [5]
177				3765,19	±	263,56	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0336-019 , PKS 0336-01 , WISE J033930.93-014635.7 , 2MASS J03393094-0146357 , 2MASSi J0339309-014635	[2] [5]
178				2521,45	±	176,5	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0403-132 , PKS 0403-13 , WISE J040533.99-130813.6 , WISE J040534.00-130813.6 , 2MASX J04053399-1308135	[2] [5]
179				2530,5	±	177,14	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0405-123 , PKS 0405-12 , WISE J040748.42-121136.6 , 2MASS J04074842-1211366 , 2MASSi J0407484-121136	[2] [5]
180				4049,55	±	283,47	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0420-014 , PKS 0420-01 , WISE J042315.79-012032.9 , 2MASS J04231580-0120330 , 2MASSi J0423158-012033	[2] [5]
181							_ Radio loud quasar (RLQ)		[5]
182				3452,53	±	242,04	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J044923.32+633209.3 , LQAC 072+063 001 , CGRaBS J0449+6332 , BZQ J0449+6332 , 87GB 044442.7+632657	[2] [5]
183				1963,82	±	137,47	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0454-81 , WISE J045005.40-810102.3 , 2MASS J04500545-8101021 , GALEXASC J045005.72-810102.2 , LQAC 072-081 001	[2] [5]
184				1790,37	±	125,33	_ Radio loud quasar (RLQ)	4C +06.21 , PKS 0454+06 , WISE J045707.70+064507.2 , 2MASS J04570771+0645072 , GALEXASC J045707.69+064506.4	[2] [5]
185				4218,1	±	295,27	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0502+049 , WISE J050523.18+045942.8 , 2MASS J05052320+0459425 , GALEXASC J050523.13+045942.6 , LQAC 076+004 001	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
186	0514-459			7,55	3,55E+07	0,194 ± N/A	
187	0518+165			8,53	3,39E+08	0,759 ± N/A	
188	0538+498			9,58	3,80E+09	0,545 ± N/A	
189	0602-319			9,02	1,05E+09	0,452 ± N/A	
190	0607-157			8,68	4,79E+08	0,32262 ± 0,00018	
191	0637-752			9,41	2,57E+09	0,653 ± 0,002	
192	0646+600			8,74	5,50E+08	0,455 ± 0,003	
193	0723+679			8,67	4,68E+08	0,846 ± 0,005	
194	0736+017			8,00	1,00E+08	0,18941 ± 0,00001	
195	0738+313			9,40	2,51E+09	0,63196 ± 0,00035	
196	0809+483			7,96	9,12E+07	0,871 ± N/A	
197	0838+133			8,52	3,31E+08	0,6808 ± 0,0003	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
186				858,35	±	60,08	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0514-459 , WISE J051545.23-455643.3 , WISE J051545.24-455643.2 , 2MASS J05154524-4556432 , 6dF J0515452-455643	[2] [5]
187				3356,1	±	234,93	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 138 , [HB89] 0518+165 , 4C +16.12 , PKS 0518+16 , WISE J052109.89+163822.0	[2] [5]
188				2409,79	±	168,69	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 147 , [HB89] 0538+498 , 4C +49.14 , WISE J054236.14+495107.1 , 2MASS J05423614+4951071	[2] [5]
189				2000,01	±	140	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0602-319 , PKS 0602-31 , 2MASS J06041453-3155582 , 2MASSi J0604145-315558 , LQAC 091-031 001	[2] [5]
190				1428,02	±	99,96	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0607-157 , PKS 0607-15 , WISE J060940.95-154240.8 , 2MASS J06094094-1542406 , 2MASSi J0609409-154240	[2] [5]
191				2888,52	±	202,39	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0637-752 , PKS 0637-75 , PKS 0637-752 , WISE J063546.51-751616.7 , WISE J063546.51-751616.9	[2] [5]
192				2012,44	±	141,49	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J065031.24+600144.6 , 2MASS J06503124+6001444 , LQAC 102+060 002 , CGRaBS J0650+6001 , BZQ J0650+6001	[2] [5]
193				3741,31	±	262,82	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 179 , [HB89] 0723+679 , 4C +67.14 , LQAC 112+067 001 , LEDA 2817576	[2] [5]
194				840,75	±	58,85	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0736+017 , PKS 0736+01 , WISE J073918.03+013704.6 , 2MASS J07391803+0137046 , LQAC 114+001 001	[2] [5]
195				2796,8	±	195,78	_ Radio loud quasar (RLQ)	FBQS J074110.6+311200 , [HB89] 0738+313 , B2 0738+31 , WISE J074110.70+311200.2 , 2MASS J07411070+3112002	[2] [5]
196				3853,4	±	269,74	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 196 , [HB89] 0809+483 , 4C +48.22 , WISE J081336.05+481302.6 , 2MASSi J0813360+481302	[2] [5]
197				3014,33	±	211,01	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 207 , [HB89] 0838+133 NED01 , 4C +13.38 , PKS 0838+13 , WISE J084047.59+131223.4	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
198	0906+430			7,90	7,94E+07	0,66992 ± 0,00037	
199	0912+029			7,72	5,25E+07	0,42668 ± 0,00035	
200	0921-213			8,14	1,38E+08	0,052 ± N/A	
201	0923+392			9,28	1,91E+09	0,69528 ± 0,00027	
202	0925-203			8,46	2,88E+08	0,34741 ± 0,00015	
203	0953+254			9,00	1,00E+09	0,70721 ± 0,00035	
204	0954+556			8,07	1,17E+08	0,89961 ± 0,00037	
205	1004+130			9,10	1,26E+09	0,24061 ± 0,00035	
206	1007+417			8,79	6,17E+08	0,61235 ± 0,00013	
207	1016-311			8,89	7,76E+08	0,794 ± N/A	
208	1020-103			8,36	2,29E+08	0,19662 ± 0,00001	
209	1034-293			8,75	5,62E+08	0,312 ± N/A	
210	1036-154			7,80	6,31E+07	0,525 ± N/A	
211	1045-188			6,83	6,76E+06	0,595 ± N/A	
212	1100+772			9,31	2,04E+09	0,3115 ± 0,00005	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
198				2965,15	±	207,57	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0912+029 , WISE J091437.91+024559.2 , SDSS J091437.91+024559.2 , SDSS J091437.91+024559.3 , GAMA 729763	[2] [5]
199				1891,34	±	132,4	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 0921-213 , WISE J092338.88-213547.1 , 2MASX J09233890-2135474 , 2MASXi J0923389-213547 , 2MASS J09233888-2135471	[2] [5]
200				234,67	±	16,43	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0923+392 , 4C +39.25 , B2 0923+39 , B3 0923+392 , WISE J092703.02+390220.9	[2] [5]
201				3077,71	±	215,44	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0923+392; 4C +39.25; B2 0923+39; B3 0923+392; WISE J092703.02+390220.9	[2] [5]
202				1540,94	±	107,87	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0925-203 , PKS 0925-203 , WISE J092751.82-203451.2 , 2MASS J09275183-2034512 , 2MASSi J0927518-203451	[2] [5]
203				3131,44	±	219,21	_ Radio loud quasar (RLQ)	FBQS J095649.8+251515 , [HB89] 0953+254 , B2 0954+25A , WISE J095649.87+251516.0 , WISE J095649.88+251516.1	[2] [5]
204				3980,2	±	278,62	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 0954+556 , 4C +55.17 , WISE J095738.17+552257.7 , WISE J095738.17+552257.8 , 2MASS J09573818+5522578	[2] [5]
205				1068,86	±	74,84	_ Radio loud quasar (RLQ)	PG 1004+130 , PG 1004+131 , [HB89] 1004+130 , 4C +13.41 , PKS 1004+13	[2] [5]
206				2711,13	±	189,78	_ Radio loud quasar (RLQ)	FBQS J101027.5+413238 , [HB89] 1007+417 , 4C +41.21 , B3 1007+417 , 2MASS J10102753+4132389	[2] [5]
207				3515,7	±	246,1	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1016-311 , WISE J101828.75-312353.8 , WISE J101828.76-312353.8 , 2MASS J10182873-3123542 , GALEXASC J101828.76-312354.0	[2] [5]
208				874,74	±	61,23	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1020-103 , PKS 1020-103 , WISE J102232.81-103744.2 , 2MASS J10223281-1037442 , 2MASSi J1022328-103744	[2] [5]
209				1384,57	±	96,92	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1034-293 , PKS 1034-293 , WISE J103716.07-293402.8 , 2MASS J10371607-2934028 , 6dF J1037161-293403	[2] [5]
210				2326,76	±	162,87	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J103906.70-154106.6 , 2MASS J10390673-1541063 , GALEXASC J103906.75-154106.8 , LQAC 159-015 001 , CGRaBS J1039-1541	[2] [5]
211				2636,24	±	184,54	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1045-188 , PKS 1045-18 , WISE J104806.61-190935.7 , 2MASS J10480664-1909362 , GALEXASC J104806.64-190936.0	[2] [5]
212				1377,94	±	96,46	_ Radio loud quasar (RLQ)	PG 1100+772 , PG 1100+773 , PRC C-36 , 3C 249.1 , [HB89] 1100+772	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
213	1101-325			8,61	4,07E+08	0,3555 ± 0,00015	
214	1106+023			7,50	3,16E+07	0,15742 ± 0,00107	
215	1107-187			6,90	7,94E+06	0,497 ± N/A	
216	1111+408			9,82	6,61E+09	0,73662 ± 0,00035	
217	1128-047			6,72	5,25E+06	0,266 ± N/A	
218	1136-135			8,78	6,03E+08	0,55646 ± 0,00015	
219	1137+660			9,36	2,29E+09	0,646 ± 0,0006	
220	1150+497			8,73	5,37E+08	0,33366 ± 0,00035	
221	1151-348			9,02	1,05E+09	0,258 ± N/A	
222	1200-051			8,41	2,57E+08	0,381 ± N/A	
223	1202-262			9,00	1,00E+09	0,789 ± N/A	
224	1217+023			8,41	2,57E+08	0,24037 ± 0,00035	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
213				1576,85	±	110,38	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1101-325 , PKS 1101-325 , WISE J110331.52-325116.6 , 2MASS J11033152-3251167 , GALEXASC J110331.56-325116.7	[2] [5]
214				701,47	±	49,33	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1106+023 , 2MASX J11084550+0202405 , 2MASS J11084551+0202409 , SDSS J110845.48+020240.8 , SDSS J110845.49+020240.8	[2] [5]
215				2202,95	±	154,21	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1107-187 , LQAC 167-018 003 , PKS B1107-187 , PKS J1110-1858 , PMN J1110-1858	[2] [5]
216				3260,81	±	228,26	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 254 , [HB89] 1111+408 , 4C +40.28 , B3 1111+408 , WISE J111438.72+403720.2	[2] [5]
217				1181,63	±	82,71	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1128-047 , WISE J113130.51-050019.5 , 2MASS J11313051-0500194 , LQAC 172-005 001 , CGRaBS J1131-0500	[2] [5]
218				2465,9	±	172,61	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1136-135 , PKS 1136-13 , WISE J113910.70-135043.6 , 2MASS J11391069-1350435 , 2MASSi J1139107-135043	[2] [5]
219				2858,03	±	200,08	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 263 , [HB89] 1137+660 , 4C +66.13 , 2MASS J11395700+6547494 , 2MASSi J1139570+654749	[2] [5]
220				1478,33	±	103,5	_ Radio loud quasar (RLQ)	SBS 1150+497 , [HB89] 1150+497 , 4C +49.22 , WISE J115324.46+493108.9 , WISE J115324.47+493108.9	[2] [5]
221				1145,55	±	80,19	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1151-348 , PKS 1151-34 , WISE J115421.78-350529.0 , 2MASX J11542180-3505293 , 2MASS J11542178-3505290	[2] [5]
222				1690,01	±	118,3	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1200-051 , PKS 1200-051 , WISE J120234.23-052802.4 , 2MASS J12023422-0528025 , 2MASSi J1202342-052802	[2] [5]
223				3493,76	±	244,56	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1202-262 , PKS 1203-26 , WISE J120533.21-263404.4 , 2MASSi J1205332-263404 , GALEXASC J120533.18-263404.9	[2] [5]
224				1068,03	±	74,78	_ Radio loud quasar (RLQ)	UM 492 , [HB89] 1217+023 , PKS 1217+02 , WISE J122011.89+020342.3 , 2MASS J12201188+0203420	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
225	1237-101			9,28	1,91E+09	0,752 ± 0,001	
226	1244-255			9,04	1,10E+09	0,633 ± N/A	
227	1250+568			8,42	2,63E+08	0,31978 ± 0,00008	
228	1253-055			8,43	2,69E+08	0,5362 ± 0,0004	
229	1254-333			8,83	6,76E+08	0,19 ± N/A	
230	1302-102			8,30	2,00E+08	0,2784 ± 0,0004	
231	1352-104			8,15	1,41E+08	0,332 ± N/A	
232	1354+195			9,44	2,75E+09	0,72 ± N/A	
233	1355-416			9,73	5,37E+09	0,313 ± N/A	
234	1359-281			8,07	1,17E+08	0,802 ± N/A	
235	1450-338			6,46	2,88E+06	0,368 ± N/A	
236	1451-375			8,82	6,61E+08	0,31405 ± 0,00015	
237	1458+718			8,98	9,55E+08	0,905 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
225			3330,21	± 233,16	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1237-101 , PKS 1237-10 , WISE J123943.06-102328.6 , 2MASS J12394306-1023284 , 2MASSi J1239430-102328	[2] [5]
226			2803,72	± 196,26	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1244-255 , PKS 1244-255 , WISE J124646.80-254749.2 , WISE J124646.81-254749.1 , 2MASS J12464679-2547492	[2] [5]
227			1416,13	± 99,13	_ Radio loud quasar (RLQ)	SBS 1250+568 , 3C 277.1 , [HB89] 1250+568 , 4C +56.20 , WISE J125226.35+563419.5	[2] [5]
228			2375,85	± 166,32	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 279 , [HB89] 1253-055 , 4C -05.55 , PKS 1253-05 , WISE J125611.17-054721.5	[2] [5]
229			844,55	± 59,12	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1254-333 , PKS 1254-333 , WISE J125720.62-333444.2 , 2MASS J12572062-3334443 , 6dF J1257206-333444 Coordinates	[2] [5]
230			1235,83	± 86,53	_ Radio loud quasar (RLQ)	PG 1302-102 , PG 1302-103 , [HB89] 1302-102 , PKS 1302-102 , WISE J130533.01-103319.3	[2] [5]
231			1472,18	± 103,05	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1352-104 , PKS 1352-104 , WISE J135446.52-104102.5 , 2MASS J13544650-1041027 , GALEXASC J135446.60-104102.3	[2] [5]
232			3187,27	± 223,11	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1354+195 , 4C +19.44 , PKS 1354+19 , WISE J135704.43+191907.4 , 2MASS J13570445+1919072	[2] [5]
233			1387,46	± 97,12	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1355-416 , PKS 1355-41 , 2MASS J13590018-4152526 , 6dF J1359002-415253 , LQAC 209-041 001	[2] [5]
234			3550,06	± 248,5	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1359-281 , WISE J140202.40-282225.1 , GALEXASC J140202.36-282224.9 , LQAC 210-028 001 , LEDA 2827807	[2] [5]
235			1630,11	± 114,11	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1450-338 , LQAC 223-034 001 , LEDA 2828179 , PKS B1450-338 , PKS B1450-338 ID	[2] [5]
236			1391,49	± 97,41	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1451-375 , PKS 1451-375 , WISE J145427.41-374733.0 , 2MASS J14542740-3747331 , 6dF J1454273-374733	[2] [5]
237			4001,96	± 280,14	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 309.1 , [HB89] 1458+718 , 4C +71.15 , WISE J145907.59+714019.8 , 2MASS J14590760+7140199	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
238	1509+022			7,99	9,77E+07	0,21991 ± 0,00035	
239	1510-089			8,65	4,47E+08	0,36 ± 0,002	
240	1545+210			8,93	8,51E+08	0,2643 ± 0,0003	
241	1546+027			8,72	5,25E+08	0,41437 ± 0,00035	
242	1555-140			7,25	1,78E+07	0,097 ± N/A	
243	1611+343			9,57	3,72E+09	1,39915 ± 0,00045	
244	1634+628			7,28	1,91E+07	0,988 ± N/A	
245	1637+574			9,18	1,51E+09	0,7506 ± 0,001	
246	1641+399			9,42	2,63E+09	0,5928 ± 0,0004	
247	1642+690			7,76	5,75E+07	0,751 ± N/A	
248	1656+053			9,62	4,17E+09	0,879 ± N/A	
249	1706+006			6,63	4,27E+06	0,449 ± N/A	
250	1721+343			8,04	1,10E+08	0,206 ± 0,005	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
238			975,09 ± 68,27	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1509+022 , WISE J151215.73+020316.9 , WISE J151215.74+020317.0 , 2MASS J15121573+0203168 , SDSS J151215.74+020316.9	[2] [5]
239			1594,59 ± 111,97	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1510-089 NED02 , PKS 1510-08 , PKS 1510-089 , WISE J151250.53-090559.7 , WISE J151250.53-090559.8	[2] [5]
240			1170,25 ± 81,93	_ Radio loud quasar (RLQ)	PG 1545+210 , 3C 323.1 , [HB89] 1545+210 , 4C +21.45 , PKS 1545+21	[2] [5]
241			1834,13 ± 128,4	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1546+027 , PKS 1546+027 , WISE J154929.43+023701.1 , WISE J154929.44+023701.2 , 2MASS J15492943+0237010	[2] [5]
242			430,73 ± 30,15	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1555-140 , PKS 1555-140 ID , 2MASS J15582194-1409590 , LQAC 239-014 001 , CGRaBS J1558-1409	[2] [5]
243			6187,4 ± 433,12	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1611+343 , FBQS J161341.0+341247 , B2 1611+34 , WISE J161341.07+341248.0 , 2MASS J16134106+3412479	[2] [5]
244			4368,47 ± 305,79	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 343 , [HB89] 1634+628 , 4C +62.26 , GALEXASC J163433.87+624536.3 , LQAC 248+062 005	[2] [5]
245			3318,81 ± 232,36	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1637+574 , SBS 1637+574 , WISE J163813.46+572024.0 , 2MASS J16381345+5720241 , 2MASSi J1638134+572024	[2] [5]
246			2621,3 ± 183,5	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 345 , [HB89] 1641+399 NED01 , FBQS J164258.7+394837 , 4C +39.48 , B2 1641+39	[2] [5]
247			3320,34 ± 232,42	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1642+690 , 4C +69.21 , WISE J164207.84+685639.8 , LQAC 250+068 001 , CGRaBS J1642+6856	[2] [5]
248			3886,95 ± 272,09	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1656+053 , PKS 1656+053 , WISE J165833.44+051516.4 , 2MASS J16583343+0515163 , GALEXASC J165833.43+051516.3	[2] [5]
249			1985,42 ± 138,98	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 1706+006 , WISE J170844.64+003509.6 , LQAC 257+000 001 , LEDA 2829123 , BZQ J1708+0035	[2] [5]
250			910,28 ± 67,45	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1721+343 NED02 , FBQS J172320.8+341757 , 4C +34.47 , B2 1721+34 , WISE J172320.79+341758.0	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
251	1725+044			8,07	1,17E+08	0,296 ± N/A	
252	1726+455			8,22	1,66E+08	0,717 ± 0,001	
253	1828+487			9,85	7,08E+09	0,692 ± N/A	
254	1849+670			9,14	1,38E+09	0,657 ± 0,001	
255	1856+737			8,89	7,76E+08	0,461 ± 0,001	
256	1928+738			8,91	8,13E+08	0,3021 ± 0,0003	
257	1945+725			6,48	3,02E+06	0,303	
258	1954-388			8,63	4,27E+08	0,63 ± N/A	
259	2004-447			7,48	3,02E+07	0,24 ± N/A	
260	2043+749			9,62	4,17E+09	0,104 ± N/A	
261	2059+034			9,13	1,35E+09	1,013 ± N/A	
262	2111+801			8,73	5,37E+08	0,524 ± 0,001	
263	2120+099			8,19	1,55E+08	0,932 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
251				1308,39	±	91,59	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1725+044 , PKS 1725+044 , WISE J172824.94+042704.8 , WISE J172824.95+042704.9 , 2MASS J17282494+0427046	[2] [5]
252				3169,64	±	221,92	_ Radio loud quasar (RLQ)	B3 1726+455 , WISE J172727.66+453039.7 , 2MASS J17272767+4530396 , 2MASSi J1727276+453040 , GALEX 2679617623447047975	[2] [5]
253				3058,14	±	214,07	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 380 , [HB89] 1828+487 , 4C +48.46 , WISE J182931.78+484446.2 , 2MASS J18293178+4844461	[2] [5]
254				2903,59	±	203,3	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J184916.08+670541.5 , WISE J184916.09+670541.6 , GALEXASC J184916.12+670541.5 , LQAC 282+067 002 , CGRaBS J1849+6705 , 4C +66.20	[2] [5]
255				2037,12	±	142,67	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J185457.29+735119.9 , 2MASS J18545730+7351200 , GALEXASC J185457.33+735119.6 , LQAC 283+073 001 , CGRaBS J1854+7351	[2] [5]
256				1334,32	±	93,41	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1928+738 , 4C +73.18 , 2MASS J19274848+7358013 , GALEXASC J192748.65+735801.9 , LQAC 291+073 001	[2] [5]
257							_ Radio loud quasar (RLQ)		[5]
258				2783,29	±	194,83	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 1954-388 , PKS 1954-388 , WISE J195759.81-384506.2 , 2MASS J19575982-3845063 , 2MASSi J1957598-384506	[2] [5]
259				1058,99	±	74,13	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 2004-447 , WISE J200755.20-443444.2 , 2MASS J20075517-4434442 , GALEXASC J200755.29-443444.9 , LQAC 301-044 001	[2] [5]
260				458,11	±	32,07	_ Radio loud quasar (RLQ)	4C +74.26 , 2MASS J20423730+7508024 , GALEXASC J204237.21+750802.1 , GALEXMSC J204237.28+750802.8 , LQAC 310+075 003	[2] [5]
261				4474,59	±	313,22	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2059+034 , PKS 2059+034 , WISE J210138.82+034131.3 , 2MASS J21013883+0341314 , LQAC 315+003 001	[2] [5]
262				2315,54	±	162,15	_ Radio loud quasar (RLQ)	WISE J210919.16+802111.2 , LQAC 317+080 001 , [WB92] 2110+8008 , NVSS J210919+802111 , VLSS J2109.3+8021	[2] [5]
263				4116,17	±	288,13	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 2120+09 , WISE J212313.38+100754.9 , SDSS J212313.35+100754.9 , LQAC 320+010 011 , LEDA 2830854	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
264	2128-123			9,61	4,07E+09	0,501 ± N/A	
265	2135-147			8,94	8,71E+08	0,20047 ± 0,00001	
266	2141+175			8,74	5,50E+08	0,21074 ± 0,00001	
267	2143-156			7,68	4,79E+07	0,698 ± N/A	
268	2155-152			7,59	3,89E+07	0,672 ± N/A	
269	2201+315			8,87	7,41E+08	0,29474 ± 0,00001	
270	2216-038			9,24	1,74E+09	0,901 ± N/A	
271	2218+395			7,14	1,38E+07	0,655 ± 0,003	
272	2247+140			7,59	3,89E+07	0,23463 ± 0,00002	
273	2251+158			9,17	1,48E+09	0,859 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
264				2210,61	±	154,74	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2128-123 , PKS 2128-12 , WISE J213135.25-120704.8 , 2MASS J21313525-1207047 , GALEXASC J213135.19-120704.0	[2] [5]
265				881,77	±	61,72	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2135-147 , PKS 2135-14 , 2MASX J21374518-1432554 , 2MASS J21374519-1432557 , 6dF J2137452-143256	[2] [5]
266				926,84	±	64,88	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2141+175 , WISE J214335.55+174348.7 , WISE J214335.55+174348.8 , 2MASSi J2143355+174348 , LQAC 325+017 001	[2] [5]
267				3081,66	±	215,72	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2143-156 NED01 , PKS 2143-156 , WISE J214622.97-152543.6 , WISE J214622.98-152543.8 , 2MASS J21462299-1525435	[2] [5]
268				2966,59	±	207,66	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2155-152 , PKS 2155-152 , WISE J215806.27-150109.0 , WISE J215806.27-150109.2 , 2MASS J21580628-1501093	[2] [5]
269				1298,5	±	90,9	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2201+315 , 4C +31.63 , B2 2201+31A , WISE J220314.98+314538.3 , 2MASS J22031498+3145382	[2] [5]
270				3978,73	±	278,51	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2216-038 , 4C -03.79 , PKS 2216-03 , 2MASS J22185203-0335368 , 2MASSi J2218520-033536	[2] [5]
271				2891,73	±	202,86	_ Radio loud quasar (RLQ)	4C +39.66 , B2 2218+39 , B3 2218+395 , LEDA 2820637 , MG4 J222030+3948	[2] [5]
272				1032,06	±	72,25	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2247+140 , 4C +14.82 , PKS 2247+14 , WISE J225025.34+141952.0 , 2MASX J22502534+1419519	[2] [5]
273				3792,87	±	265,5	_ Radio loud quasar (RLQ)	3C 454.3 , [HB89] 2251+158 , Crazy Diamond , 4C +15.76 , PKS 2251+15	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
274	2255-282			9,16	1,45E+09	0,92584 ± 0,00015	
275	2311+469			9,30	2,00E+09	0,742 ± 0,001	
276	2329-415			8,93	8,51E+08	0,671 ± N/A	
277	2342+821			7,31	2,04E+07	0,735 ± N/A	
278	2344+092			9,31	2,04E+09	0,677 ± N/A	
279	2345-167			8,72	5,25E+08	0,576 ± N/A	
280	2349-014			8,78	6,03E+08	0,17374 ± 0,00015	
281	2355-082			8,39	2,45E+08	0,21098 ± 0,00002	
282	NGC 2841			8,21	1,62E+08	0,00213 ± 0,00001	
283	NGC 3982			6,09	1,23E+06	0,0037 ± 0,00002	
284	NGC 3998		Grande ourse	8,95	8,91E+08 (mth Log) ou [270 - 800]E6	0,00350 ± 0,00002	4,50E+07

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
274				4089,33	±	286,25	_ Radio loud quasar (RLQ)	AT 2017jyd , [HB89] 2255-282 , PKS 2255-282 , WISE J225805.95-275821.0 , WISE J225805.96-275821.2	[2] [5]
275				3276,74	±	229,41	_ Radio loud quasar (RLQ)	4C +46.47 , B3 2311+469 , WISE J231348.16+471214.9 , 2MASS J23134816+4712149 , 2MASSi J2313481+471215	[2] [5]
276				2963,35	±	207,43	_ Radio loud quasar (RLQ)	PKS 2329-415 , WISE J233219.06-411837.7 , 2MASS J23321908-4118376 , GALEXASC J233219.11-411837.5 , LQAC 353-041 001	[2] [5]
277				3248,6	±	227,4	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2342+821 , LQAC 356+082 001 , SSTSL2 J234403.59+822641.7 , [WB92] 2341+8209 , NVSS J234403+822640	[2] [5]
278				2988,1	±	209,17	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2344+092 , PG 2344+092 , 4C +09.74 , PKS 2344+09 , WISE J234636.83+093045.5	[2] [5]
279				2541,96	±	177,94	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2345-167 , PKS 2345-16 , WISE J234802.60-163111.9 , WISE J234802.60-163112.0 , 2MASS J23480260-1631118	[2] [5]
280				762,89	±	53,41	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2349-014 , PG 2349-014 , 4C -01.61 , PKS 2349-01 , PKS 2349-10	[2] [5]
281				927,72	±	64,94	_ Radio loud quasar (RLQ)	[HB89] 2355-082 , PKS 2355-082 , WISE J235809.68-080004.6 , 2MASSi J2358096-080004 , LQAC 359-008 002	[2] [5]
282				11,93	±	0,85	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)	UGC 04966 , CGCG 265-006 , CGCG 0918.5+5112 , MCG +09-16-005	[2] [5]
283				18,86	±	1,33	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)	UGC 06918 , KUG 1153+554 , CGCG 269-019 , CGCG 1153.9+5523	[2] [5]
284		13,7		17,93	±	1,27	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1) _ Galaxie lenticuaire _ SA(r)0^0^? _ Sy1 _ LINER	UGC 06946, CGCG 269-025, CGCG 1155.3+5543, MCG +09-20-046	[2] [3] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
285	Mrk 10			7,47	2,95E+07	0,02925 ± 0,00001	
286	UGC 3223			7,02	1,05E+07	0,01562 ± 0,00004	
287	NGC 513			7,65	4,47E+07	0,01954 ± 0,00003	
288	NGC 788			7,51	3,24E+07	0,0136 ± 0,00009	
289	NGC 1052			8,19	1,55E+08	0,00504 ± 0,00002	
290	NGC 1320			7,18	1,51E+07	0,00888 ± 0,00005	
291	NGC 1358			7,88	7,59E+07	0,01344 ± 0,00003	
292	NGC 1386			7,24	1,74E+07	0,0029 ± 0,00002	
293	NGC 1667			7,88	7,59E+07	0,01517 ± 0,00006	
294	NGC 2110			8,30	2,00E+08	0,00779 ± 0,00007	
295	NGC 2273		Lynx	7,30	2E7 (mth Log) ou 7,50E6	0,00614 ± 0,00001	8,50E+07
296	NGC 2992			7,72	5,25E+07	0,00771 ± 0,00001	
297	NGC 3185			6,06	1,15E+06	0,00406 ± 0,00001	
298	NGC 3362			6,77	5,89E+06	0,02765 ± 0,00014	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
285				130,43	±	9,13	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)	UGC 04013 , MRK 0010 , SBS 0743+610 , KUG 0743+610 , CGCG 286-062	[2] [5]
286				68,71	±	4,81	_ Galaxies de Seyfert de type 1 (SY1)	UGC 03223 , CGCG 420-025 , CGCG 0456.5+0454 , MCG +01-13-012 , 2MASX J04590940+0458307	[2] [5]
287				82,27	±	5,77	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 0513 , UGC 00953 , ARK 041 , CGCG 521-020 , CGCG 0121.7+3333	[2] [5]
288				56,24	±	3,97	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 0788 , MCG -01-06-025 , FBQS J0201-0648 , 2MASX J02010644-0648569 , SDSS J020106.46-064857.0	[2] [5]
289				19,08	±	1,36	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MCG -01-07-034 , PKS 0238-084 , 2MASX J02410480-0815209 , 2MASS J02410478-0815209	[2] [5]
290				36,87	±	2,6	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MRK 0607 , KUG 0322-032 , MCG -01-09-036 , 2MASX J03244870-0302322	[2] [5]
291				57,22	±	4,01	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MCG -01-10-003 , 2MASX J03333970-0505224 , 2MASXi J0333397-050522 , 2MASS J03333968-0505221	[2] [5]
292				11,42	±	0,81	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	ESO 358- G 035 , ESO 033452-3609.8 , MCG -06-09-005 , FCC 179	[2] [5]
293				66,59	±	4,67	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 1689 , MCG -01-13-013 , 2MASX J04483720-0619114 , 2MASXi J0448372-061912	[2] [5]
294				35,47	±	2,5	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MCG -01-15-004 , 2MASX J05521140-0727222 , 2MASS J05521138-0727224 , IRAS 05497-0728	[2] [5]
295		26		27,66	±	1,94	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 03546 , MRK 0620 , CGCG 285-006 , CGCG 0645.6+6054	[2] [5]
296				39,15	±	2,76	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	ARP 245 NED01 , MCG -02-25-014, 2MASX J09454204-1419348 , IRAS 09432-1405	[2] [5]
297				22,61	±	1,62	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 05554 , CGCG 123-034 , CGCG 1014.9+2156 , MCG +04-24-024	[2] [5]
298				127,55	±	8,96	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 05857 , CGCG 038-007 , CGCG 1042.2+0652 , MCG +01-28-005	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
299	NGC 3786			7,53	3,39E+07	0,00893 ± 0,00002	
300	NGC 4117			6,83	6,76E+06	0,00312 ± 0,00001	
301	NGC 4339			7,40	2,51E+07	0,00422 ± 0,00002	
302	NGC 5194	1773	Chiens de chasse	6,95	8,91E+06 (mth Log) ou 1,00E+06	0,00154 ± 0,00001	2,74E+07
303	NGC 5252			8,04	1,10E+08	0,02297 ± 0,00001	
304	NGC 5347			6,79	6,17E+06	0,00779 ± 0,00007	
305	NGC 5427			6,39	2,45E+06	0,00873 ± 0,00001	
306	NGC 5929			7,25	1,78E+07	0,00831 ± 0,00003	
307	NGC 5953			6,94	8,71E+06	0,00656 ± 0,00002	
308	NGC 6104			7,60	3,98E+07	0,02812 ± 0,0001	
309	NGC 7213			7,99	9,77E+07	0,00584 ± 0,00002	
310	NGC 7319			7,38	2,40E+07	0,02251 ± 0,00001	
311	NGC 7603			8,08	1,20E+08	0,02952 ± 0,00007	
312	NGC 7672			6,88	7,59E+06	0,01338 ± 0,00009	
313	NGC 7682			7,28	1,91E+07	0,01714 ± 0,00002	
314	NGC 7743			6,59	3,89E+06	0,0057 ± 0,00002	
315	Mrk 1			7,16	1,45E+07	0,01595 ± 0,00001	
316	Mrk 3			8,65	4,47E+08	0,01351 ± 0,00002	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
299				43,72	±	3,08	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 06621 , ARP 294 NED01 , VV 228b , MRK 0744	[2] [5]
300				17,17	±	1,23	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 07112 , CGCG 215-029 , CGCG 1205.2+4324 , MCG +07-25-027	[2] [5]
301				23,74	±	1,7	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 07461 , VCC 0648 , CGCG 042-068 , CGCG 1221.0+0621	[2] [5]
302		8,4		9,38	±	0,68	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2) _ Couple de galaxies (galaxie spirale régulière et petite galaxie irrégulière)	MESSIER 051a , UGC 08493 , ARP 085 NED01 , VV 001a	[1] [2] [5]
303				105,89	±	7,42	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 08622 , CGCG 045-056 , CGCG 1335.7+0447 , MCG +01-35-022	[2] [5]
304				37,53	±	2,65	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 08805 , KUG 1351+337A , CGCG 191-007 , CGCG 1351.1+3345	[2] [5]
305				42,64	±	3	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGCA 381 , ARP 271 NED02 , VV 021a , MCG -01-36-003	[2] [5]
306				38,12	±	2,67	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 09851 , ARP 090 NED01 , VV 823 NED01 , I Zw 112 NED01	[2] [5]
307				30,97	±	2,17	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 09903 , ARP 091 NED01 , VV 244a , MRK 9031	[2] [5]
308				124,99	±	8,76	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 10309 , KUGX 1614+358 , CGCG 196-020 , CGCG 1614.7+3550	[2] [5]
309				22,75	±	1,61	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	ESO 288- G 043 , ESO 220609-4724.7 , AM 2206-472 , PKS 2206-474	[2] [5]
310				94,7	±	6,64	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 12102 , ARP 319 NED05 , VV 288b , CGCG 514-064	[2] [5]
311				125,12	±	8,77	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 12493 , ARP 092 , MRK 0530 , UM 156	[2] [5]
312				53,71	±	3,8	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	CGCG 431-070 , CGCG 2325.0+1207 , MCG +02-59-045 , KAZ 568	[2] [5]
313				70,34	±	4,94	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 12622 , ARP 216 NED02 , VV 329b , CGCG 380-062	[2] [5]
314				19,81	±	1,44	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 12759 , CGCG 432-022 , CGCG 2341.8+0939 , MCG +02-60-011	[2] [5]
315				66,25	±	4,65	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 0449 , UGC 00804 NOTES01 , MRK 0001 , KUG 0113+328A , CGCG 502-018	[2] [5]
316				59,59	±	4,17	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 03426 , MRK 0003 , CGCG 329-024 , CGCG 0609.8+7103 , MCG +12-06-019	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
317	Mrk 78			7,87	7,41E+07	0,03715 ± 0,00014	
318	Mrk 270			7,60	3,98E+07	0,0104 ± 0,00014	
319	Mrk 348			7,21	1,62E+07	0,01503 ± 0,00001	
320	Mrk 533			7,56	3,63E+07	0,02892 ± 0,00003	
321	Mrk 573			7,28	1,91E+07	0,01718 ± 0,00004	
322	Mrk 622			6,92	8,32E+06	0,02323 ± 0,00004	
323	Mrk 686			7,56	3,63E+07	0,01409 ± 0,00003	
324	Mrk 917			7,62	4,17E+07	0,02441 ± 0,00003	
325	Mrk 1018			8,09	1,23E+08	0,04244 ± 0,0001	
326	Mrk 1040			7,64	4,37E+07	0,01665 ± 0,00002	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
317			165,06 ± 11,57	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	MRK 0078 , KUG 0737+652 , 2MASX J07424170+6510378 , 2MASS J07424172+6510373 , SDSS J074241.70+651037.8	[2] [5]
318			47,03 ± 3,35	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 5283 , UGC 08672 , MRK 0270 , CGCG 317-006 , CGCG 1339.6+6755	[2] [5]
319			61,92 ± 4,35	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 0262 , UGC 00499 , MRK 0348 , CGCG 501-020 , CGCG 0046.1+3142	[2] [5]
320			122,44 ± 8,58	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 7674 , UGC 12608 , ARP 182 NED01 , VV 343a , MRK 0533	[2] [5]
321			71,66 ± 5,03	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 01214 , MRK 0573 , UM 363 , CGCG 386-035 , CGCG 0141.4+0206	[2] [5]
322			105,22 ± 7,37	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 04229 , MRK 0622 , KUG 0804+391 , CGCG 207-033 , CGCG 0804.2+3909	[2] [5]
323			64,64 ± 4,53	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 5695 , UGC 09421 , MRK 0686 , CGCG 192-049 , CGCG 1435.3+3646	[2] [5]
324			103,01 ± 7,22	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 12149 , MRK 0917 , CGCG 495-012 , CGCG 2238.8+3155 , MCG +05-53-009	[2] [5]
325			183,71 ± 12,87	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 01597 , MRK 1018 , UM 393 , CGCG 387-034 , CGCG 0203.7-0032	[2] [5]
326			70,24 ± 4,92	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 0931 , UGC 01935 , MRK 1040 , KUG 0225+310 , CGCG 504-089	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
327	Mrk 1066			7,01	1,02E+07	0,01202 ± 0,00007	
328	Mrk 1157			6,83	6,76E+06	0,01517 ± 0,00003	
329	Akn 79			7,54	3,47E+07	0,01752 ± 0,00006	
330	Akn 347			8,00	1,00E+08	0,02244 ± 0,00011	
331	IC 5063			7,74	5,50E+07	0,01135 ± 0,00002	
332	II ZW55			8,23	1,70E+08	0,01963 ± 0,00003	
333	F 341			7,15	1,41E+07	0,016	
334	UGC 3995			7,69	4,90E+07	0,01584 ± 0,00002	
335	UGC 6100			7,70	5,01E+07	0,0295 ± 0,00013	
336	1ES 1959+65			8,09	1,23E+08	0,048	
337	Mrk 180			8,21	1,62E+08	0,04528 ± N/A	
338	I Zw 187			7,86	7,24E+07	0,05541 ± 0,0002	
339	1514-241			8,10	1,26E+08	0,04903 ± 0,00015	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
327			50,4 ± 3,55	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 02456 , MRK 1066 , CGCG 524-040 , CGCG 0256.8+3637 , MCG +06-07-027	[2] [5]
328			63,08 ± 4,43	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 0591 , UGC 01111 , CGCG 521-046 , CGCG 0130.7+3525	[2] [5]
329			74,14 ± 5,2	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 01757 , ARK 079 , CGCG 523-008 , CGCG 0214.3+3811 , MCG +06-06-006	[2] [5]
330			103,98 ± 7,3	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 4074 , ARK 347 , CGCG 128-013 , CGCG 1202.0+2036 , MCG +04-29-011	[2] [5]
331			48,32 ± 3,39	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	ESO 187- G 023 , ESO 204812-5715.5 , AM 2048-571 , PKS 2048-57	[2] [5]
332			90,24 ± 6,32	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 06865 , ARP 062 , VV 286 , II Zw 055 , CGCG 214-035	[2] [5]
333				_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)		[5]
334			72,65 ± 5,09	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 03995 , CGCG 147-061 , CGCG 148-003 , CGCG 0741.0+2921 , MCG +05-19-001	[2] [5]
335			133,76 ± 9,38	_ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	UGC 06100 , CGCG 241-059 , CGCG 1058.7+4555 , MCG +08-20-066 , 2MASX J11013400+4539136	[2] [5]
336				_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
337			201,41 ± 14,1	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	MRK 0180 , VII Zw 412 , CGCG 334-043 , CGCG 1133.5+7027 , CGPG 1133.5+7027	[2] [5]
338			244,23 ± 17,12	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	CGPG 1727.1+5015 , [HB89] 1727+502 NED01 , WISE J172818.63+501310.4	[2] [5]
339			219,44 ± 15,38	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	AP Lib , ESO 514- G 001 , ESO 151445-2411.4 , [HB89] 1514-241 , PKS 1514-24	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
340	0521-365			8,65	4,47E+08	0,05655 ± 0,00018	
341	0548-322			8,15	1,41E+08	0,069 ± N/A	
342	0706+591			8,26	1,82E+08	0,125 ± N/A	
343	2201+044			8,10	1,26E+08	0,027 ± N/A	
344	2344+514			8,80	6,31E+08	0,044 ± N/A	
345	3C 29			8,20	1,58E+08	0,04503 ± 0,00005	
346	3C 31			8,50	3,16E+08	0,017 ± 0,00004	
347	3C 33			8,38	2,40E+08	0,0597 ± 0,0001	
348	3C 40			7,86	7,24E+07	0,018 ± N/A	
349	3C 62			8,67	4,68E+08	0,147 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
340				250,63	±	17,56	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	ESO 362- G 021 , ESO 052113-3630.3 , [HB89] 0521-365 , PKS 0521-36 , WISE J052257.98-362730.8	[2] [5]
341				306,22	±	21,44	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	[HB89] 0548-322 , PKS 0548-322 , WISE J055040.57-321616.4 , 2MASX J05504053-3216163 , 2MASXi J0550405-321616	[2] [5]
342				553,52	±	38,75	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J071030.05+590820.5 , WISE J071030.06+590820.3 , 2MASX J07103005+5908202 , 2MASS J07103007+5908204 , LQAC 107+059 001	[2] [5]
343				114,15	±	8	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	CGCG 403-019 , CGCG 2201.8+0425 , [HB89] 2201+044 , 4C +04.77 , PKS 2201+04	[2] [5]
344				190,71	±	13,35	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J234704.83+514217.9 , 2MASX J23470479+5142179 , 2MASX J23470479+5142179 ID , 2MASS J23470484+5142178 , LQAC 356+051 001	[2] [5]
345				194,27	±	13,6	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 00595 , CGCG 384-048 , CGCG 0055.1-0138 , ZwCl 0054.6-0127 S , MCG +00-03-041	[2] [5]
346				70,82	±	4,97	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 0383 , UGC 00689 , ARP 331 NED06 , VV 193a , IV Zw 038 NED03	[2] [5]
347				259,21	±	18,15	_ Radiogalaxie (RG)	3C 033 , 4C +13.07 , PKS 0106+13 , 2MASX J01085285+1320137 , 2MASS J01085288+1320141	[2] [5]
348				75,08	±	5,26	_ Radiogalaxie (RG)	ARP 308 , 3C 040 , 4C -01.08 , PKS 0123-01 , KPG 032	[2] [5]
349				646,46	±	45,25	_ Radiogalaxie (RG)	3C 062 , PKS 0213-13 , PKS 0213-132 , 2MASX J02153739-1259298 , 2MASS J02153741-1259302	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
350	3C 76.1			8,13	1,35E+08	0,03249 ± 0,00012	
351	3C 78			8,60	3,98E+08	0,02865 ± 0,0001	
352	3C 84			8,51	3,24E+08	0,01756 ± 0,00004	
353	3C 88			8,03	1,07E+08	0,03022 ± 0,0002	
354	3C 89			8,52	3,31E+08	0,1386 ± N/A	
355	3C 98			7,88	7,59E+07	0,03045 ± 0,00014	
356	3C 192			8,06	1,15E+08	0,05971 ± 0,00004	
357	3C 196.1			8,21	1,62E+08	0,198 ± N/A	
358	3C 223			8,15	1,41E+08	0,13673 ± 0,00081	
359	3C 293			7,99	9,77E+07	0,04503 ± 0,00011	
360	3C 305			7,92	8,32E+07	0,04164 ± 0,00008	
361	3C 338			8,78	6,03E+08	0,03035 ± 0,00003	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
350			140,69 ± 9,86	_ Radiogalaxie (RG)	3C 076.1 , 4C +16.06 , PKS 0300+16 , 2MASXi J0303150+162619 , GALEXASC J030315.15+162619.0	[2] [5]
351			123,87 ± 8,68	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 1218 , UGC 02555 , CGCG 416-002 , CGCG 0305.8+0355 , MCG +01-09-001	[2] [5]
352			75,29 ± 5,28	_ Radiogalaxie (RG) _ Galaxies de Seyfert de type 2 (SY2)	NGC 1275 , Perseus A , UGC 02669 , MRK 1505 , MRK 9013	[2] [5]
353			131,22 ± 9,23	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 02748 , CGCG 390-093 , CGCG 0325.3+0223 , MCG +00-09-086 , 3C 088	[2] [5]
354			610,62 ± 42,74	_ Radiogalaxie (RG)	3C 089 , 4C -01.12 , PKS 0331-01 , 2MASX J03341552-0110557 , 2MASXi J0334156-011056	[2] [5]
355			132,86 ± 9,32	_ Radiogalaxie (RG)	3C 098 , 4C +10.12 , PKS 0356+10 , 2MASX J03585442+1026033 , 2MASS J03585444+1026030	[2] [5]
356			267,15 ± 18,7	_ Radiogalaxie (RG)	4C +24.16 , PKS 0802+24 , B2 0802+24 , 2MASX J08053502+2409508	[2] [5]
357			879,43 ± 61,56	_ Radiogalaxie (RG)	4C -02.35 , PKS 0812-02 , 2MASX J08152782-0308276 , 2MASXi J0815278-030827	[2] [5]
358			608,24 ± 42,73	_ Radiogalaxie (RG)	4C +36.16 , B2 0936+36 , 2MASX J09395280+3553588 , 2MASXi J0939527+355359	[2] [5]
359			202,33 ± 14,17	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 08782 , VV 369 , CGCG 162-021 , CGCG 1350.0+3142 , MCG +05-33-012	[2] [5]
360			184,95 ± 12,95	_ Radiogalaxie (RG)	IC 1065 , UGC 09553 , CGCG 318-004 , CGCG 1448.2+6329 , MCG +11-18-008	[2] [5]
361			134,58 ± 9,42	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 6166 , UGC 10409 , VV 364 , CGCG 224-039 , CGCG 1626.9+3940	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
362	3C 388			9,18	1,51E+09	0,0917 ± N/A	
363	3C 444			7,68	4,79E+07	0,153 ± N/A	
364	3C 449			8,33	2,14E+08	0,01708 ± N/A	
365	gin 116			8,75	5,62E+08	0,03339 ± 0,00007	
366	NGC 315			8,90	7,94E+08	0,01648 ± 0,00002	
367	NGC 507			9,00	1,00E+09	0,01646 ± 0,00002	
368	NGC 708			8,46	2,88E+08	0,0162 ± 0,00005	
369	NGC 741			8,72	5,25E+08	0,01855 ± 0,00006	
370	NGC 4839			8,48	3,02E+08	0,02456 ± 0,00004	
371	NGC 4869			8,12	1,32E+08	0,02288 ± 0,00003	
372	NGC 4874			8,63	4,27E+08	0,02394 ± 0,00001	
373	NGC 6086			8,96	9,12E+08	0,03185 ± 0,00008	
374	NGC 6137			8,81	6,46E+08	0,03103 ± 0,00005	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc ± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
362			403,51 ± 28,25	_ Radiogalaxie (RG)	4C +45.39 , B3 1842+455 , 2MASX J18440241+4533298 , 2MASXi J1844024+453329	[2] [5]
363			671,69 ± 47,02	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 2211-17 , 2MASX J22142575-1701362 , 2MASXi J2214257-170136 , APMUKS(BJ) B221142.61-171632.3	[2] [5]
364			70,99 ± 4,98	_ Radiogalaxie (RG)	CGCG 514-050 , CGCG 2229.1+3906 , 3C 449 , 4C +39.69 , B2 2229+39	[2] [5]
365			144,35 ± 10,11	_ Radiogalaxie (RG)	CGCG 523-037 , CGCG 0222.4+3657 , MCG +06-06-029 , GIN 116 , B2 0222+36	[2] [5]
366			68,36 ± 4,8	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 0315 , UGC 00597 , CGCG 501-052 , CGCG 0055.1+3005 , MCG +05-03-031	[2] [5]
367			68,59 ± 4,81	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 0507 , UGC 00938 , ARP 229 NED01 , VV 207a , CGCG 502-067	[2] [5]
368			67,87 ± 4,76	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 0708 , UGC 01348 , CGCG 522-039 , CGCG 0149.9+3555 , MCG +06-05-031	[2] [5]
369			77,88 ± 5,47	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 0741 , IC 1751 , UGC 01413 , VV 175a , III Zw 038	[2] [5]
370			112,59 ± 7,89	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 08070 , CGCG 160-039 , CGCG 1255.0+2746 , MCG +05-31-025	[2] [5]
371			105,14 ± 7,37	_ Radiogalaxie (RG)	CGCG 160-225 , CGCG 125658+2811.0 , CGCG 160A016 , CGCG COMA016	[2] [5]
372			109,81 ± 7,69	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 08103 , CGCG 160-231 , CGCG 125711+2813.8 , CGCG 160A022	[2] [5]
373			141,73 ± 9,93	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 10270 , CGCG 167-045 , CGCG 1610.5+2938 , MCG +05-38-035	[2] [5]
374			137,71 ± 9,64	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 6137 , UGC 10364 , CGCG 196-053 , CGCG 1621.3+3802 , MCG +06-36-039	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
375	NGC 7626			8,97	9,33E+08	0,01136 ± 0,00001	
376	0039-095			8,72	5,25E+08		
377	0053-015			8,82	6,61E+08	0,038	
378	0053-016			8,51	3,24E+08	0,043	
379	0055-016			8,85	7,08E+08	0,04503 ± 0,00005	
380	0110+152			8,09	1,23E+08	0,044	
381	0112-000			8,53	3,39E+08	0,04521 ± 0,00010	
382	0112+084			9,18	1,51E+09		
383	0147+360			8,46	2,88E+08	0,01725 ± 0,00003	
384	0131-360			8,53	3,39E+08	0,03	
385	0257-398			8,29	1,95E+08	0,06618 ± 0,00015	
386	0306+237			8,51	3,24E+08		
387	0312-343			8,57	3,72E+08	0,06690 ± 0,00040	
388	0325+024			8,29	1,95E+08	0,03	
389	0431-133			8,65	4,47E+08	0,033	
390	0431-134			8,31	2,04E+08	0,03478 ± 0,00003	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc ± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
375			44,76 ± 3,16	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 7626 , UGC 12531 , CGCG 406-076 , CGCG 2318.2+0756 , MCG +01-59-057	[2] [5]
376				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
377				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
378				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
379			194,27 ± 13,60	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 00595 , CGCG 384-048 , CGCG 0055.1-0138 , ZwCl 0054.6-0127 S , MCG +00-03-041	[2] [5]
380				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
381			195,23 ± 13,68	_ Radiogalaxie (RG)	GIN 061 , 2MASX J01151577+0012483 , 2MASS J01151578+0012485 , SDSS J011515.77+001248.5 , SDSS J011515.78+001248.4	[2] [5]
382				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
383			72,51 ± 5,08	_ Radiogalaxie (RG)	UGC 01308 , CGCG 522-022 , CGCG 0147.9+3601 , MCG +06-05-017 , GIN 106	[2] [5]
384				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
385			290,78 ± 20,37	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 0257-398 , 2MASX J02592672-3940374 , 2MASS J02592669-3940376 , 6dF J0259267-394038 , APMBGC 300+046-011	[2] [5]
386				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
387			293,98 ± 20,65	_ Radiogalaxie (RG)	ESO 357- G 009 , ESO 031233-3418.7 , PKS 0312-343 , GALEXASC J031432.81-340739.6 , GALEXMSC J031432.90-340739.7	[2] [5]
388				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
389				_ Radiogalaxie (RG)		[5]
390			153,09 ± 10,72	_ Radiogalaxie (RG)	GIN 190 , PKS 0431-135 , 2MASX J04341042-1322119 , 2MASS J04341043-1322120 , CAN 024 NED02	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
391	0449-175			7,72	5,25E+07	0,03170 ± 0,00007	
392	0546-329			9,29	1,95E+09	0,03719 ± 0,00015	
393	0548-317			7,28	1,91E+07	0,04003 ± 0,00020	
394	0634-206			8,09	1,23E+08	0,056	
395	0718-340			9,01	1,02E+09	0,02835 ± 0,00005	
396	0915-118			8,69	4,90E+08	0,05488 ± 0,00008	
397	0940-304			9,29	1,95E+09	0,03863 ± 0,00015	
398	1043-290			8,37	2,34E+08	0,05974 ± 0,00015	
399	1107-372			8,81	6,46E+08	0,01030 ± 0,00006	
400	1123-351			9,53	3,39E+09	0,03375 ± 0,00011	
401	1258-321			8,61	4,07E+08	0,015	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
391				139,88	±	9,80	_ Radiogalaxie (RG)	ESO 552- G 014 , ESO 044907-1735.2 , MCG -03-13-017 , GIN 221 , PKS 0449-17	[2] [5]
392				165,52	±	11,61	_ Radiogalaxie (RG)	ESO 363- G 027 , ESO 054637-3259.6 , AM 0546-325 , MCG -05-14-017 , PKS 0546-329	[2] [5]
393				178,12	±	12,50	_ Radiogalaxie (RG)	ESO 424- G 027 , ESO 054857-3145.1 , PKS 0548-317 , 2MASX J05504985-3144266 , 2MASXi J0550498-314426	[2] [5]
394				N/A	±	N/A	_ Radiogalaxie (RG)	PMN J0636-2041 , MRC 0634-206 , VLSS J0636.5-2042 , TXS 0634-206 , PAPER J099.14-20.66	[2] [5]
395				128,14	±	8,97	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 0718-34 , 2MASX J07204757-3407058 , 2MASS J07204756-3407059 , SGC 071857-3401.5 , LDCE 0497 NED013	[2] [5]
396				247,46	±	17,33	_ Radiogalaxie (RG)	Hydra A , MCG -02-24-007 , 3C 218 , PKS 0915-11 , 2MASX J09180565-1205439	[2] [5]
397				175,45	±	12,30	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 0940-304 , 2MASX J09422410-3044101 , 2MASS J09422407-3044102 , GALEXASC J094224.00-304409.9 , 6dF J0942241-304410	[2] [5]
398				269,19	±	18,86	_ Radiogalaxie (RG)	2MASX J10460990-2921094 , 2MASS J10460992-2921097 , GALEXASC J104609.89-292110.1 , 6dF J1046098-292110 , 6dF J1046099-292110	[2] [5]
399				50,26	±	3,54	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 3557 , ESO 377- G 016 , ESO 110735-3716.0 , AM 1107-371 , MCG -06-25-005	[2] [5]
400				154,05	±	10,80	_ Radiogalaxie (RG)	ESO 377- G 046 , ESO 112326-3507.2 , MCG -06-25-019 , PKS 1123-35 , 2MASX J11255292-3523402	[2] [5]
401							_ Radiogalaxie (RG)		[5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
402	1333-337			8,77	5,89E+08	0,01247 ± 0,00003	
403	1400-337			8,89	7,76E+08	0,01376 ± 0,00005	
404	1404-267			8,81	6,46E+08	0,02180 ± 0,00003	
405	1510+076			9,03	1,07E+09	0,04309 ± 0,00007	
406	1514+072			8,65	4,47E+08	0,035	
407	1520+087			8,29	1,95E+08	0,034	
408	1521-300			7,80	6,31E+07	0,01946 ± 0,00015	
409	1602+178			8,24	1,74E+08	0,041	
410	1610+296			7,277 ± 6,10E-02 0,061	1,89E+07 ± 1,150800389 1,150800389	0,02958 ± 0,00015	
411	2236-176			8,49	3,09E+08	0,07437 ± 0,00012	
412	2322+143			8,17	1,48E+08	0,04463 ± 0,00003	
413	2322-122			8,33	2,14E+08	0,082	
414	2333-327			8,65	4,47E+08	0,05212 ± 0,00015	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
402				59,13	±	4,15	_ Radiogalaxie (RG)	IC 4296 , ESO 383- G 039 , ESO 133347-3342.7 , AM 1333-334 , MCG -06-30-016	[2] [5]
403				64,53	±	4,53	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 5419 , ESO 384- G 039 , ESO 140042-3344.3 , MCG -06-31-019 , PKS 1400-33	[2] [5]
404				100,18	±	7,02	_ Radiogalaxie (RG)	IC 4374 , ESO 510- G 069 , ESO 140439-2646.8 , AM 1404-264 , MCG -04-33-046	[2] [5]
405				193,13	±	13,52	_ Radiogalaxie (RG)	GIN 413 , 2MASX J15123429+0725533 , 2MASS J15123432+0725534 , SDSS J151234.33+072553.5 , CAN 048 NED04	[2] [5]
406							_ Radiogalaxie (RG)		[5]
407							_ Radiogalaxie (RG)		[5]
408				88,50	±	6,23	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 1521-300 , 2MASX J15243341-3012214 , 2MASXi J1524334-301221 , 2MASS J15243339-3012212 , 6dF J1524334-301221	[2] [5]
409							_ Radiogalaxie (RG)		[5]
410				131,39	±	9,22	_ Radiogalaxie (RG) _ Galaxie active (AGN)	MRK 0290 , SBS 1534+580 , PG 1534+580 , PG 1534+581 , 2MASX J15355241+5754095	[2] [4] [5]
411				323,89	±	22,68	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 2236-17 , 2MASX J22391136-1720284 , 2MASXi J2239113-172028 , 2MASS J22391137-1720281 , GALEX J223911.4-172029	[2] [5]
412				191,94	±	13,44	_ Radiogalaxie (RG)	GIN 693 , 2MASX J23243212+1438222 , 2MASXi J2324321+143822 , 2MASS J23243210+1438220 , SDSS J232432.09+143821.9	[2] [5]
413							_ Radiogalaxie (RG)		[5]
414				226,28	±	15,86	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 2333-327 , 2MASX J23360718-3230326 , 2MASS J23360719-3230323 , DUKST 408-004 , 6dF J2336071-323032	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
415	2335+267			9,08	1,20E+09	0,03022 ± 0,00005	
416	0122+090			8,82	6,61E+08	0,33900 ± 0,00300	
417	0145+138			8,42	2,63E+08	0,12500 ± N/A	
418	0158+001			8,08	1,20E+08	0,29863 ± 0,00010	
419	0229+200			9,24	1,74E+09	0,14000 ± N/A	
420	0257+342			8,66	4,57E+08	0,24500 ± 0,00300	
421	0317+183			7,95	8,91E+07	0,19000 ± 0,00300	
422	0331-362			8,75	5,62E+08	0,30800 ± 0,00300	
423	0347-121			8,65	4,47E+08	0,18500 ± 0,00012	
424	0350-371			8,82	6,61E+08	0,16500 ± 0,00300	
425	0414+009			8,56	3,63E+08	0,287	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
415				128,52	±	9,01	_ Radiogalaxie (RG)	NGC 7720 , UGC 12716 , CGCG 476-091 , CGCG 2336.0+2645 , MCG +04-55-036	[2] [5]
416				1494,37	±	105,44	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J01244450+0918490 , GALEXMSC J012444.43+091849.4 , LQAC 021+009 001 , BZB J0124+0918 , MS 0122.1+0903	[2] [5]
417				548,46	±	38,39	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J01482971+1402179 , LQAC 027+014 003 , BZB J0148+1402 , 1ES 0145+138 , [VCV2001] J014829.7+140218	[2] [5]
418				1316,44	±	92,15	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J02010616+0034002 , SDSS J020106.17+003400.1 , SDSS J020106.17+003400.2 , SDSS J020106.18+003400.1 , SDSS J020106.18+003400.2	[2] [5]
419				615,55	±	43,09	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J023248.60+201717.3 , 2MASX J02324860+2017175 , 2MASXi J0232486+201717 , 2MASS J02324861+2017175 , GALEXASC J023248.57+201718.3	[2] [5]
420				1080,53	±	76,79	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J03010374+3441010 , LQAC 045+034 001 , BZB J0301+3441 , 1WHSP J030103.7+344101 , NVSS J030103+344102	[2] [5]
421				837,49	±	60,11	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	[HB89] 0317+185 , WISE J031951.80+184534.6 , 2MASX J03195178+1845338 , 2MASS J03195180+1845344 , LQAC 049+018 002	[2] [5]
422				1360,45	±	96,15	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J03331225-3619466 , GALEXASC J033312.32-361947.9 , 6dF J0333123-361947 , LQAC 053-036 002 , BZB J0333-3619	[2] [5]
423				816,28	±	57,14	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J034923.18-115927.2 , 2MASS J03492318-1159270 , GALEXASC J034923.17-115925.4 , 6dF J0349232-115927 , LQAC 057-011 001	[2] [5]
424				728,50	±	52,69	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASX J03515459-3703443 , 2MASX J03515459-3703443 ID , 2MASS J03515455-3703441 , LQAC 057-037 001 , BZB J0351-3703	[2] [5]
425							_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
426	0419+194			8,61	4,07E+08	0,51200 ± 0,00300	
427	0506-039			8,75	5,62E+08	0,30400 ± N/A	
428	0525+713			9,03	1,07E+09	0,24900 ± N/A	
429	0607+710			8,65	4,47E+08	0,26700 ± 0,00300	
430	0737+744			8,94	8,71E+08	0,315	
431	0922+749			9,61	4,07E+09	0,63800 ± 0,00300	
432	0927+500			8,34	2,19E+08	0,18674 ± 0,00019	
433	0958+210			9,03	1,07E+09	0,34600 ± 0,00300	
434	1104+384			9,39	2,45E+09	0,031	
435	1133+161			8,32	2,09E+08	N/A ± N/A	
436	1136+704			8,95	8,91E+08	0,045	
437	1207+394			9,10	1,26E+09	0,00343 ± 0,00010	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
426				2262,59	±	158,94	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	SHBL J042218.4+195051 , BZB J0422+1950 , 1WHSP J042218.3+195054 , NVSS J042218+195055 , MS 0419.3+1943	[2] [5]
427				1344,19	±	94,09	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J05093818-0400455 , 6dF J0509382-040046 , LQAC 077-004 001 , SHBL J050939.0-040036 , BZB J0509-0400	[2] [5]
428				1100,53	±	77,04	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASX J05313744+7121509 , 2MASX J05313744+7121509 ID , 2MASS J05313736+7121513 , LQAC 082+071 001 , 87GB 052548.9+712016	[2] [5]
429				1180,44	±	83,69	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J06134287+7107293 , BZB J0613+7107 , 87GB 060751.7+710809 , 87GB[BWE91] 0607+7108 , NVSS J061343+710727	[2] [5]
430							_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
431				2821,70	±	197,96	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	LQAC 142+074 001 , BZB J0928+7447 , 87GB 092308.0+745942 , 87GB[BWE91] 0923+7459 , 8C 0923+750	[2] [5]
432				828,38	±	57,99	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J09303759+4950256 , SDSS J093037.57+495025.6 , SDSS J093037.58+495025.6 , GALEXASC J093037.61+495026.0 , GMBCG J142.65655+49.84045 BCG	[2] [5]
433				1534,52	±	108,23	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J10014243+2048182 , SDSS J100142.41+204818.2 , LQAC 150+020 010 , BZB J1001+2048 , MS 0958.9+2102	[2] [5]
434							_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
435				N/A	±	N/A	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	FIRST J113603.1+155109 , NVSS J113603+155106 , VLSS J1136.0+1551 , PSR B1133+16 , PSR J1136+1551	[2] [5]
436							_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
437				18,83	±	1,41	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	KUG 1207+394 , SDSS J120944.15+390733.2 , SDSS J120944.16+390733.3 , GALEXASC J120944.12+390733.0 , ASK 533259.0	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
438	1212+078			8,99	9,77E+08	0,13647 ± 0,00018	
439	1215+303			8,12	1,32E+08	0,13000 ± N/A	
440	1218+304			8,58	3,80E+08	0,182	
441	1221+245			7,97	9,33E+07	0,21800 ± 0,00300	
442	1229+643			9,41	2,57E+09	0,16294 ± 0,00020	
443	1248-296			9,01	1,02E+09	0,37	
444	1255+244			8,58	3,80E+08	0,14100 ± N/A	
445	1407+595			9,30	2,00E+09	0,49584 ± 0,00020	
446	1418+546			9,03	1,07E+09	0,15256 ± 0,00028	
447	1426+428			9,13	1,35E+09	0,12914 ± 0,00016	
448	1440+122			8,44	2,75E+08	0,16306 ± 0,00019	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3 ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc] ± 2 ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
438			608,50 ± 42,60	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J121510.98+073204.7 , 2MASX J12151097+0732048 , 2MASS J12151096+0732045 , SDSS J121510.97+073204.6 , SDSS J121510.98+073204.6	[2] [5]
439			579,00 ± 40,53	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	FBQS J1217+3007 , FBQS J121752.0+300700 , TON 0605 , [HB89] 1215+303 , B2 1215+30	[2] [5]
440				_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
441			968,35 ± 69,07	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	FBQS J122424.1+243623 , WISE J122424.18+243623.5 , WISE J122424.20+243623.6 , 2MASS J12242418+2436234 , SDSS J122424.19+243623.5	[2] [5]
442			722,10 ± 50,55	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	[HB89] 1229+645 , 2MASX J12313142+6414181 , 2MASXi J1231313+641418 , 2MASS J12313136+6414183 , SDSS J123131.38+641418.3	[2] [5]
443				_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
444			627,63 ± 43,93	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASX J12573192+2412398 , 2MASS J12573193+2412401 , SDSS J125731.93+241240.2 , GALEXASC J125731.86+241239.5 , LQAC 194+024 008	[2] [5]
445			2193,88 ± 153,57	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J14092353+5939408 , SDSS J140923.48+593940.7 , SDSS J140923.49+593940.8 , SDSS J140923.50+593940.6 , SDSS J140923.50+593940.7	[2] [5]
446			676,20 ± 47,35	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	[HB89] 1418+546 , SBS 1418+546 , PG 1418+546 , WISE J141946.60+542314.8 , WISE J141946.61+542314.8	[2] [5]
447			573,18 ± 40,13	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J142832.62+424021.0 , 2MASX J14283260+4240210 , 2MASXi J1428326+424020 , 2MASS J14283260+4240209 , SDSS J142832.60+424021.0	[2] [5]
448			724,08 ± 50,69	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J144248.24+120040.3 , 2MASS J14424821+1200402 , SDSS J144248.27+120040.3 , SDSS J144248.28+120040.3 , GALEXASC J144248.33+120040.7	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
449	1534+014			8,80	6,31E+08	0,31200 ± 0,00300	
450	1704+604			8,77	5,89E+08	0,28	
451	1728+502			8,13	1,35E+08	0,055	
452	1757+703			8,75	5,62E+08	0,40700 ± 0,00300	
453	1807+698			10,10	1,26E+10	0,05100 ± 0,00030	
454	1853+671			8,23	1,70E+08	0.21200 ± N/A	
455	2005-489			9,03	1,07E+09	0,07100 ± N/A	
456	2143+070			8,46	2,88E+08	0,23700 ± 0,00300	
457	2200+420			8,23	1,70E+08	0,0686 ± 0,0004	
458	2254+074			8,62	4,17E+08	0,19 ± N/A	
459	2326+174			8,74	5,50E+08	0,213 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
449				1381,75	±	97,63	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J15364675+0138000 , SDSS J153646.74+013800.0 , SDSS J153646.75+013800.1 , GALEXASC J153646.68+013800.4 , LQAC 234+001 004	[2] [5]
450							_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
451							_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)		[5]
452				1798,66	±	126,60	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J17571300+7033376 , GALEXASC J175713.14+703337.8 , LQAC 269+070 003 , NEP 3580 , SHBL J175713.4+703336	[2] [5]
453				224,44	±	15,77	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	UGC 11130 , VII Zw 768 , CGCG 340-035 , CGCG 1807.2+6949 , CGPG 1807.2+6949	[2] [5]
454				935,89	±	65,51	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J18535208+6713557 , GALEXASC J185352.13+671354.3 , LQAC 283+067 001 , BZB J1853+6713 , 1WHSP J185352.0+671355	[2] [5]
455				311,94	±	21,84	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	[HB89] 2005-489 , PKS 2005-489 , WISE J200925.39-484953.5 , WISE J200925.39-484953.6 , 2MASS J20092540-4849536	[2] [5]
456				1042,85	±	74,20	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASX J21455230+0719270 , 2MASX J21455230+0719270 ID , 2MASS J21455230+0719271 , LQAC 326+007 001 , RBS 1777	[2] [5]
457				299,05	±	21,01	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	BL Lac , [HB89] 2200+420 , B3 2200+420 , WISE J220243.29+421639.9 , WISE J220243.29+421640.0	[2] [5]
458				834,67	±	58,43	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	[HB89] 2254+074 , PG 2254+075 , PKS 2254+074 , WISE J225717.30+074312.3 , 2MASS J22571731+0743122	[2] [5]
459				936,46	±	65,55	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	2MASS J23290331+1743305 , GALEXASC J232903.29+174331.1 , LQAC 352+017 001 , BZB J2329+1743 , 87GB 232632.6+172658	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
460	2356-309			8,60	3,98E+08	0,16539 ± 0,00018	
461	0230-027			7,97	9,33E+07	0,239 ± N/A	
462	0307+169			8,66	4,57E+08	0,2559 ± N/A	
463	0345+337			7,12	1,32E+07	0,243 ± N/A	
464	0917+459			8,21	1,62E+08	0,174	
465	0958+291			7,93	8,51E+07	0,185	
466	1215-033			7,93	8,51E+07	0,18225 ± 0,00014	
467	1215+013			8,20	1,58E+08	0,117 ± 0,00103	
468	1330+022			7,82	6,61E+07	0,21557 ± 0,00030	
469	1342-016			8,41	2,57E+08	0,14991 ± 0,00019	
470	2141+279			7,82	6,61E+07	0,21450 ± N/A	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc]	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
460				727,06	±	50,9	_ Objet BL Lacertae ou BL Lac (BLL)	WISE J235907.88-303740.5 , WISE J235907.90-303740.6 , 2MASX J23590793-3037409 , 2MASS J23590791-3037406 , 2dFGRS S357Z081	[2] [5]
461				1053,34	±	73,73	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 0230-027 , 2MASS J02324317-0233334 , LEDA 2823137 , PKS B0230-027 , PKS J0232-0233	[2] [5]
462				1128,69	±	79,01	_ Radiogalaxie (RG)	3C 079 , 4C +16.07 , PKS 0307+16 , 2MASX J03100013+1705581 , 2MASS J03100008+1705584	[2] [5]
463				1072,5	±	75,08	_ Radiogalaxie (RG)	3C 093.1 , 4C +33.08 , B2 0345+33 , 2MASS J03484692+3353153 , LQAC 057+033 001	[2] [5]
464							_ Radiogalaxie (RG)		[5]
465							_ Radiogalaxie (RG)		[5]
466				811,09	±	56,78	_ Radiogalaxie (RG)	LCRS B121521.3-032044 , PKS 1215-033 , SDSS J121755.29-033723.2 , SDSS J121755.30-033723.3 , GALEXMSC J121755.23-033721.3	[2] [5]
467				522,52	±	36,86	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 1215+013 , 2MASX J12182779+0102374 , 2MASXi J1218277+010236 , 2MASS J12182779+0102372 , SDSS J121827.78+010237.2	[2] [5]
468				957,59	±	67,04	_ Radiogalaxie (RG)	3C 287.1 , 4C +02.36 , PKS 1330+02 , 2MASX J13325325+0200454 , 2MASS J13325326+0200456	[2] [5]
469				667,14	±	46,71	_ Radiogalaxie (RG)	PKS 1342-016 , 2MASX J13451688-0156260 , 2MASXi J1345168-015625 , 2MASS J13451687-0156255 , SDSS J134516.86-015625.6	[2] [5]
470				943,70	±	66,06	_ Radiogalaxie (RG)	3C 436 , 4C +27.47 , B2 2141+27B , 2MASX J21441171+2810188 , 2MASS J21441171+2810190	[2] [5]

=	Nom	Année de détection	Constellation	Log M_{BH} [en $M_\odot$] ± + ξ_{rr} [$M_\odot$] - ξrr [$M_\odot$]	Masse M_{BH} [en $M_\odot$] ± ξrr pos [$M_\odot$] ξrr neg [$M_\odot$]	Redshift z ±2 ξrr z	Distance [ly] ±
471	0257+024			8,75	5,62E+08	0,11337 ± 0,00002	
472	1549+203			6,92	8,32E+06	0,25186 ± 0,00032	
473	2215-037			8,20	1,58E+08	0,24099 ± 0,00008	
474	2344+184			7,07	1,17E+07	0,13668 ± 0,00010	

=	ξrr [ly]	Distance [Mpc] ±3	ξrr [Mpc]	Hubble distance (CMB) [Mpc	± 2	ξrr [Mpc]	Classification	Noms alternatifs	Références
471				498,31	±	34,88	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 0257+024 , 2MASX J03002974+0240505 , 2MASS J03002978+0240509 , GALEXASC J030029.75+024050.9 , LQAC 045+002 002	[2] [5]
472				1115,17	±	78,07	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 1549+203 , 2MASS J15520240+2014016 , SDSS J155202.40+201401.6 , WARP J1552.0+2013 , LQAC 238+020 001	[2] [5]
473				1060,36	±	74,23	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 2215-037 , 2MASX J22174771-0332380 , 2MASX J22174771-0332380 ID , 2MASS J22174773-0332383 , 2MASSi J2217477-033238	[2] [5]
474				599,06	±	41,94	_ Radio quiet quasar (RQQ)	[HB89] 2344+184 , 2MASX J23472568+1844502 , 2MASS J23472569+1844506 , GALEXASC J234725.57+184450.9 , LQAC 356+018 001	[2] [5]

Bibliographie

[1] F. Aratore. “Compact star structure and Chandrasekhar limit”. In : Tesi di laurea, Università degli Studi di Salerno (2015).

[2] astrosurf. “Le trou noir”. url : http://www.astrosurf.com/luxorion/trounoir.htm.

[3] Misty C. BENTZ et Sarah KATZ. “The AGN Black Hole Mass Database”. In : The Astronomical Society of the Pacific (2014).

[4] Laurenţiu I. Caramete et Peter L. Biermann. “The catalog of nearby black hole candidates”. In : Astronomy Astrophysics manuscript no. TheCatalogOfBlackHoleCandidatesRef (2011).

[5] S. Chandrasekhar. “On Stars, Their Evolution and Their Stability”. In : Nobel Lectures (1983). url : https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1983/chandrasekhar/lecture/.

[6] S. Chandrasekhar. “The Mathematical Theory of Black Holes and of Colliding Plane Waves”. In : Selected Papers, Volume 6 (1991).

[7] A. Eddington. In : Conférence à la Royal Astronomical Society (1935).

[8] A. Einstein. In : Comment je vois le monde (1934). url : https://vigile.quebec/IMG/pdf/comment_je_vois_le_monde_-_albert_einstein.pdf.

[9] National Aeronautics and Space Administration (NASA).

[10] futura sciences. url : https://www.futura-sciences.com/sciences/.

[11] B. Sicardy. “Notions d’astrophysique”.

[12] J. Wheeler. In : Physics Today (1971).

[13] Wikipédia. “L’encyclopédie libre”.

Résumé

L'étude des trous noirs a connu de grands bouleversements, passant d'astres purement hypothétiques prédits par de simples calculs théoriques, à des candidats potentiels suites aux observations électromagnétiques des effets indirects de leurs caractéristiques, avant d'arriver à leur observation directe grâce à l'avènement de l'astronomie gravitationnelle.

Ce mémoire retrace cette épopée scientifique tout en s'intéressant à la physique de ces astres, à leur classification, à leurs origines ainsi qu'à leur détection avant de passer à une application qui consiste à l'étude de la corrélation entre la masse des trous noirs ainsi que leur distance et voir ce que la présence où l'absence d'une corrélation peut nous suggérer comme hypothèses astrophysiques.

Abstract

The study of black holes has undergone major changes, from purely hypothetical stars predicted by simple theoretical calculations, to potential candidates following electromagnetic observations of the indirect effects of their characteristics, before arriving at their direct observation thanks to the advent of gravitational astronomy.

This thesis retraces this scientific epic while being interested in the physics of these stars, their classification, their origins as well as their detection before moving on to an application which consists of the study of the correlation between the mass of black holes as well as their distance and see what the presence or absence of a correlation can suggest to us as astrophysical hypotheses.

ملخص

شهدت دراسة الثقوب السوداء تغيرات كبيرة، من النجوم الافتراضية التي تنبأت بها الحسابات النظرية البسيطة، إلى المرشحين المحتملين بعد الملاحظات الكهرومغناطيسية للآثار غير المباشرة لخصائصهم، قبل الوصول إلى ملاحظاتهم المباشرة بفضل ظهور علم الفلك الجاذبية.

تسترجع هذه الأطروحة هذه الملحمة العلمية بينما تهتم بفيزياء هذه النجوم وتصنيفها وأصولها وكشفها قبل الانتقال إلى تطبيق يتكون من دراسة العلاقة بين كتلة الثقوب السوداء وكذلك بعدها ونرى ما الذي يمكن أن يوحي لنا وجوده أو عدم وجود علاقة به كالفرضيات الفيزيائية الفلكية.