

Les trous noirs stellaires existent-ils ?

Que deviennent les étoiles ultra compactes à la fin du collapse gravitationnel ?

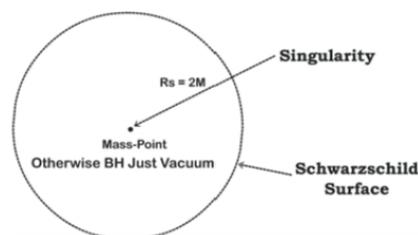
Rémy Galli le 17/12/2024

Introduction

Les questions posées ci-dessus ne sont pas nouvelles, et dans les années 60-70, les physiciens de l'époque ont introduit le terme de trou noir (voir l'ouvrage de Misner- Thorne- Wheeler « Gravitation » de 1973).

Ils ont alors répondu positivement aux deux questions : oui, les trous noirs stellaires existent, et oui, à la fin du collapse d'une étoile, on se retrouve avec un objet pour le moins bizarre : la gravitation y est si forte qu'elle capture même la lumière, d'où ce terme de Trou Noir.

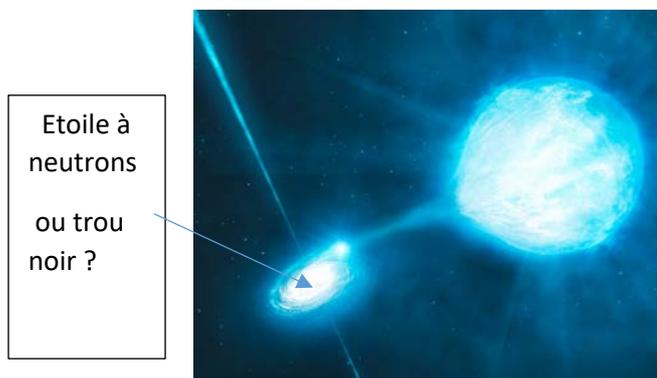
On pourrait schématiser cet objet « stellaire » comme suit :



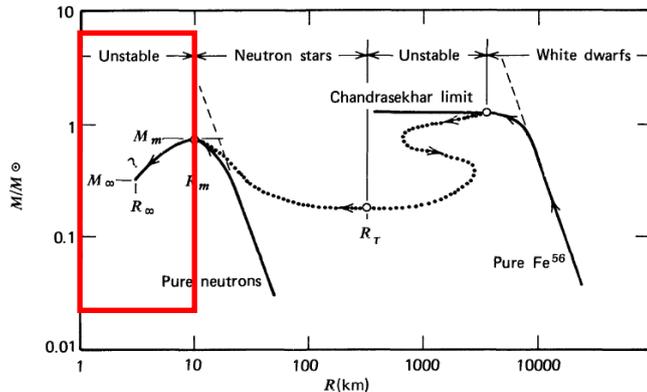
Toute la masse est concentrée en un point (que l'on appelle une **singularité**), entourée de « vide » jusqu'à un rayon dit du Trou Noir, ou le potentiel gravitationnel est d'ailleurs infini, ce qui constitue une seconde singularité à la surface dite de Schwarzschild (SC dans la suite).

Deux singularités, cela fait beaucoup et laisse perplexe beaucoup de physiciens et non des moindres : citons par exemple Steven Weinberg, prix Nobel de physique en 1979. Dans son livre de 1972, Gravitation and Cosmology, il affirme au chapitre 8.8 que ce genre de singularité n'existe pas (il s'oppose donc à Misner Thorne Wheeler) et qu'un changement de coordonnées adéquat fait disparaître ce problème. Nous y reviendrons dans la suite car ce point est réellement fondamental.

Observe-t-on de tels objets de type stellaire ? La réponse est non. Une piste de preuve est constituée par l'observation en rayons X d'un système binaire, dont l'étoile la plus grosse, observable au télescope, voit sa matière absorbée par l'objet plus petit. Cela génère de très hautes températures observables cette fois ci en rayons X. Mais nous ne sommes pas capables de déterminer si cet objet bien réel est un trou noir ou une étoile à neutrons.



Weinberg s'oppose mathématiquement au modèle du trou noir, mais il se pose tout de même la question physique du collaps gravitationnel d'une étoile, et de la stabilité de différents objets issus d'étoiles en cours d'implosion. Il rassemble dans le graphique suivant les connaissances de l'époque, qui n'ont guère évolué depuis lors, car on se pose toujours la question de ce qui peut bien se passer dans la zone instable d'une étoile à neutrons (zone entourée en rouge ci-dessous).

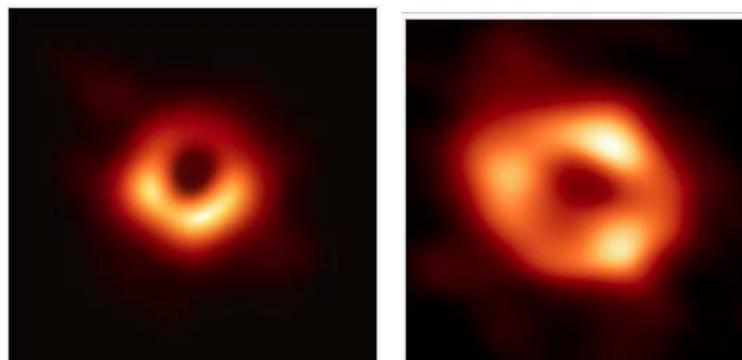


Pour Weinberg, la meilleure opportunité de savoir ce qui se passe dans cette zone est d'observer une étoile binaire comme évoqué ci-dessus : mais en ½ siècle, nous n'en savons toujours pas plus, ce qui est bien plus nuancé que d'affirmer l'existence des trous noirs stellaires. (Misner-Thorne –Wheeler).

Dans la zoologie des trous noirs, il en existerait de toutes tailles, et il existerait notamment des trous noirs supermassifs nichés au centre de certaines galaxies. Leur densité moyenne est très faible, mais leur masse colossale induit un rayon de Schwarzschild important. Par exemple, au centre de notre Galaxie, on aurait un trou noir galactique de $4 \cdot 10^6$ Masses solaires, avec un rayon critique de $r_s = 11 \cdot 10^6$ km c'est-à-dire de 15 fois le rayon du Soleil. (<https://www.fabiopacucci.com/resources/black-hole-calculator/>).

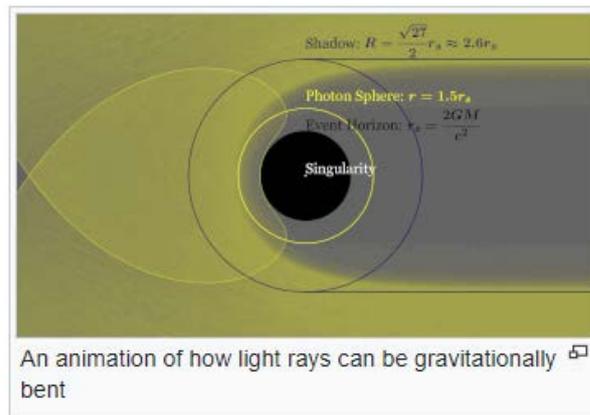
Dans le cas des objets galactiques supermassifs, l'observation vient cette fois ci au secours des théoriciens. En effet, le Event Horizon Telescope (EHT) aurait observé l'environnement de deux trous noirs galactiques (donc d'origine non stellaire) en 2017 et 2022. Consulter pour cela le site suivant (https://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole)

Voici par exemple les images obtenues en ondes radio du centre de la galaxie M87 à gauche, et du centre de notre voie lactée à droite :

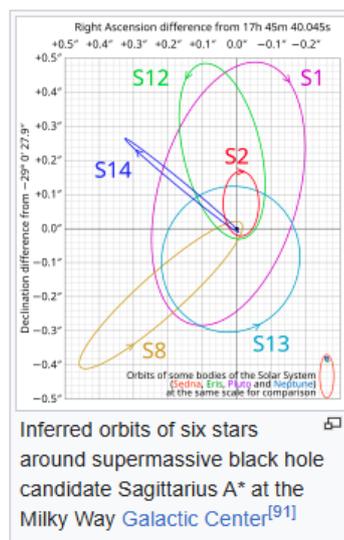


L'obtention de telles images traduites en optique nécessite un travail d'interprétation des données très compliqué. Et ce que l'on observe en réalité n'est pas l'horizon des événements comme le laisserait entendre le terme EHT : c'est l'ombre d'un objet ultra compact (ou d'un ensemble d'objets car en fait on ne sait pas vraiment ce qui se cache au centre galactique) ; cette ombre, pour un objet

unique, est située à 2.6 rayons de Schwarzschild comme le montre la figure ci-dessous. En vérité, il est impossible de visualiser le rayon de SC lui-même, car la gravitation courbe le trajet de la lumière. Commentaire personnel : la vulgarisation scientifique de l'entreprise EHT est quelque peu approximative sur ce qui est réellement observé.



Qu'il existe un objet supermassif au centre de notre galaxie ne fait aucun doute, quand on observe les orbites d'étoiles proches de cet objet. C'est d'ailleurs cette observation qui permet de calculer la masse de l'objet, soit $4 \cdot 10^6$ Masses solaires. Mais comme on ne connaît aucun objet astrophysique ayant une telle masse, on a décidé de le baptiser : trou noir galactique supermassif !!



Faute d'observer des trous noirs stellaires (qui est je le rappelle le sujet de cet article !), certains physiciens se rattrapent comme ils peuvent en invoquant ces observations de trous noirs galactiques. Par rebond, le paradigme du trou noir stellaire semblerait donc bien ancré, malgré les singularités évoquées, et ceci en invoquant les observations galactiques de l'EHT ; mais l'opposition de nombreux physiciens demeure, car il n'existe toujours pas d'observations de trous noirs stellaires, et on ne sait toujours pas clairement répondre aux deux questions posées :

Les trous noirs stellaires existent-ils ?

Que deviennent les étoiles ultra compactes à la fin du collapse gravitationnel ?

Nous allons maintenant examiner tout cela à la lumière de ce que racontent les Ummites, puis en examinant les propositions contradictoires d'un scientifique de haut niveau issu de la science officielle, et enfin la proposition « alternative » du fameux Jean-Pierre Petit : les plugstars.

1) Que répondent les Ummites aux deux questions ci-dessus ?

- a) Les trous noirs n'existent pas
- b) Le reliquat du collapse finit par disparaître par effet frontière dans un autre univers.

Ces réponses Ummites figurent dans les documents suivants dont certains sont invérifiables :

H2 UMMO7-2 2^{ème} conversation avec un Ummite 22 mars 1987

Document invérifiable

En réalité le Trou Noir est impossible, parce que quand une étoile collapse, arrive un moment où elle se convertit en étoile neutronique. Si elle continue à s'effondrer, arrive un moment où elle disparaît de notre univers par « effet frontière ». Le trou noir cesse d'exister et l'univers réduit sa masse dans la masse de l'étoile effondrée. Ce que vous considérez comme des trous noirs sont en réalité des étoiles neutroniques et non des authentiques trous noirs. Par exemple, une des premières étoiles neutroniques est dans la constellation du Cygne à 8.365 années-lumière. En réalité c'est une étoile neutronique, pas un trou noir. Le rayon de (ici j'ai des doutes sur ce nom mais il me dit que mes amis le connaissent) SCHWALLITZ (*NdT : rayon de SCHWARZSCHILD*) apparaissait et disparaissait instantanément. C'est instantané. En cet instant la masse du trou noir s'est convertie en masse NEGATIVE dans l'autre univers. La masse a disparu, entendue comme masse négative, masse avec une charge négative c'est-à-dire charge électrique différente. Et l'énergie du trou noir s'est convertie en masse.

H7 UMMO7-13 22 mars 1987 3^{ème} conversation avec un Ummite

Document invérifiable Ils (les trous noirs) n'existent pas. Ce que vous appelez trous noirs, ce sont des étoiles de neutrons. C'est bien décrit par l'auteur terrestre « Raz Tuarkill » (Schwarzschild ?). Un effet frontière se produit. Toute la masse M devient $-M$ dans l'autre univers. L'énergie se convertit en racine carrée de $-M$, qui est la masse imaginaire dans l'autre univers. Elle ne peut exister dans notre univers. Par exemple dans la constellation du Cygne... qui peut être confondue avec un trou noir.

D 792-1 13/01/1988 Authentifié par un certain Jorge Barrechea

Mais ce Leiyoo Waam (effet-frontière), présente d'importants et différents aspects qui divergent du phénomène de "disparition" de ceux appelés par vous "étoiles noires", "trous noirs". Pour ces derniers, le collapse de sa masse au-dessus d'un seuil, il disparaît aussi de l'Univers actuel, à travers la "frontière", et réapparaît en forme d'énergie dégradée (réduisant son entropie) dans un autre Cosmos adjacent.

D 731 Effet frontière entre deux cosmos adjacents 20/03/1987

Nous appelons LEEIYO WAAM (Effet frontière) une famille de phénomènes qui se passent dans le XOODII WAAM (frontière ou membrane entre deux cosmos "adjacents" (inter communicants)). Les effets frontières "observables" sont nombreux (*NdT: en note de bas de page écrite à la main: Il en*

existe beaucoup plus non observés par nos scientifiques): Quelques Leiiyo waam: (*NdT: écrit à la main sur le côté gauche de la page, devant les trois paragraphes qui suivent, eux-mêmes avec un trait vertical devant chacun*)

* La masse" imaginaire " $\pm V - m$ d'un WAAM peut provoquer des effets de plissement et de "pression" sur un autre WAAM.

* Une pression critique de valeur supérieure à quinze millions d'atmosphères en synchronisme avec un champ magnétique intense OXAAIUYU provoque un LEEIYO (changement d'axes des I.U.), ce qui explique la OAUOLEIBOZOO (Inversion corpusculaire qui permet à nos nefs de voyager par 'intermédiaire d'un autre WAAM).

* Le plus transcendant "LEEIYO WAAM " (effet frontière) se manifeste grâce à l'existence de deux facteurs attachés aux êtres vivants (des nuages d'atomes de Kr).

Ce que l'on peut retenir :

- L'étoile (ou plutôt ce qu'il en resterait tant qu'un certain seuil n'est pas atteint) disparaîtrait purement et simplement par effet frontière, sous-entendu frontière entre notre univers et un univers adjacent.
- Toute la masse restante à cet instant se transformerait en masse négative en passant dans l'univers adjacent. L'énergie gravitationnelle de liaison, négative, se transformerait en énergie imaginaire dans l'univers adjacent.
- L'effet frontière serait un effet à seuil. Ce seuil dépendrait de certaines caractéristiques physiques. Une pression (*la valeur donnée est atteignable en laboratoire par nos moyens technologiques, et ridiculement faible par rapport à ce qui se passe dans une étoile*) et un certain champ magnétique intense dont on ne connaît pas la valeur. (*Toute étoile possède un champ magnétique : par exemple, le soleil possède un champ très faible de l'ordre du Gauss, mais par compression de son rayon vers une étoile à neutrons, compression d'un facteur de l'ordre de 10^5 , cette valeur pourrait atteindre 10^{10} Gauss, soit 1 million de Teslas, ce qui est vraiment colossal. Pour les étoiles à neutrons, des valeurs très supérieures ont été mesurées*).
- La conjonction des deux conditions (pression et champ magnétique) semble nécessaire pour générer cet effet frontière.
- Une fois les conditions réalisées, et malgré l'équilibre atteint entre énergie gravitationnelle négative et énergie radiative positive, l'effet frontière se produirait, et ceci de manière instantanée.

Nos théories actuelles ne peuvent se baser sur l'effet frontière : une raison simple est que cela supposerait admis l'existence d'un univers jumeau. On en est loin.

C'est pourquoi il est intéressant de voir d'abord ce que disent certains scientifiques concernant le paradigme du trou noir, cela sans connaître « l'effet frontière », et ensuite écouter ce qu'a à dire le fameux JP Petit pour lequel l'effet frontière et l'espace jumeau sont une évidence.

On va commencer par la critique de la science officielle par certains officiels reconnus de la science.

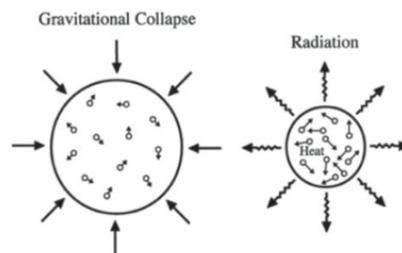
2) Existence des trous noirs dans le paradigme actuel de notre science

On pourrait croire qu'il n'y a plus rien à critiquer concernant les trous noirs au vu des preuves visuelles fournies par l'EHT. Mais encore une fois, il s'agit d'objets galactiques dont on sait au final peu de choses, et non d'objets stellaires. Concernant les « trous noirs » stellaires, certains

scientifiques restent toujours perplexes devant ce concept qu'ils jugent non physique et même non conforme à la pensée d'Einstein et aux équations de la Relativité Générale (RG dans la suite).

Plutôt que de m'appuyer sur Weinberg et son livre de 1973, je me suis appuyé pour cette étude sur les travaux plus récents de l'astrophysicien théoricien Indien Abhas Mitra. Il est principalement connu grâce à un article sur les trous noirs publié en décembre 2000 dans la revue à comité de lecture *Foundation of Physics Letters*. Dans cet article, il présente une démonstration selon laquelle l'existence des trous noirs (au sens de singularité infiniment dense) serait incompatible avec l'application stricte de la théorie de la relativité générale d'Einstein. Pour lui, ces objets seraient en fait des objets en effondrement éternel, autrement dit des objets ultra compacts, très voisins en rayon du rayon de SC, et remplis de matière-énergie et non de vide. Depuis 2000, ce physicien a consacré son travail à démonter pièce par pièce le modèle du trou noir pour le remplacer par d'autres concepts, tels que des étoiles en effondrement éternel (ECO).

En 2006, A Mitra a démontré le théorème du Viriel en RG. Quand une étoile collapse dans le domaine de la RG, l'énergie gravitationnelle de liaison négative s'accroît (dans le sens négatif), et chaque accroissement doit être compensé par une création d'énergie radiative positive si on invoque la conservation de l'énergie totale.



C'est facile à comprendre au début de la vie d'une étoile, car la gravitation engendre la fusion thermonucléaire, qui se traduit par une montée en température et une poussée d'énergie radiative de l'étoile qui stabilise alors le collapse. Cette émission d'énergie de l'étoile induit que la masse énergie de cette dernière diminue régulièrement, car Mc^2 diminue en conséquence, et son fameux rayon de SC diminue également. La température dans l'étoile augmente également.

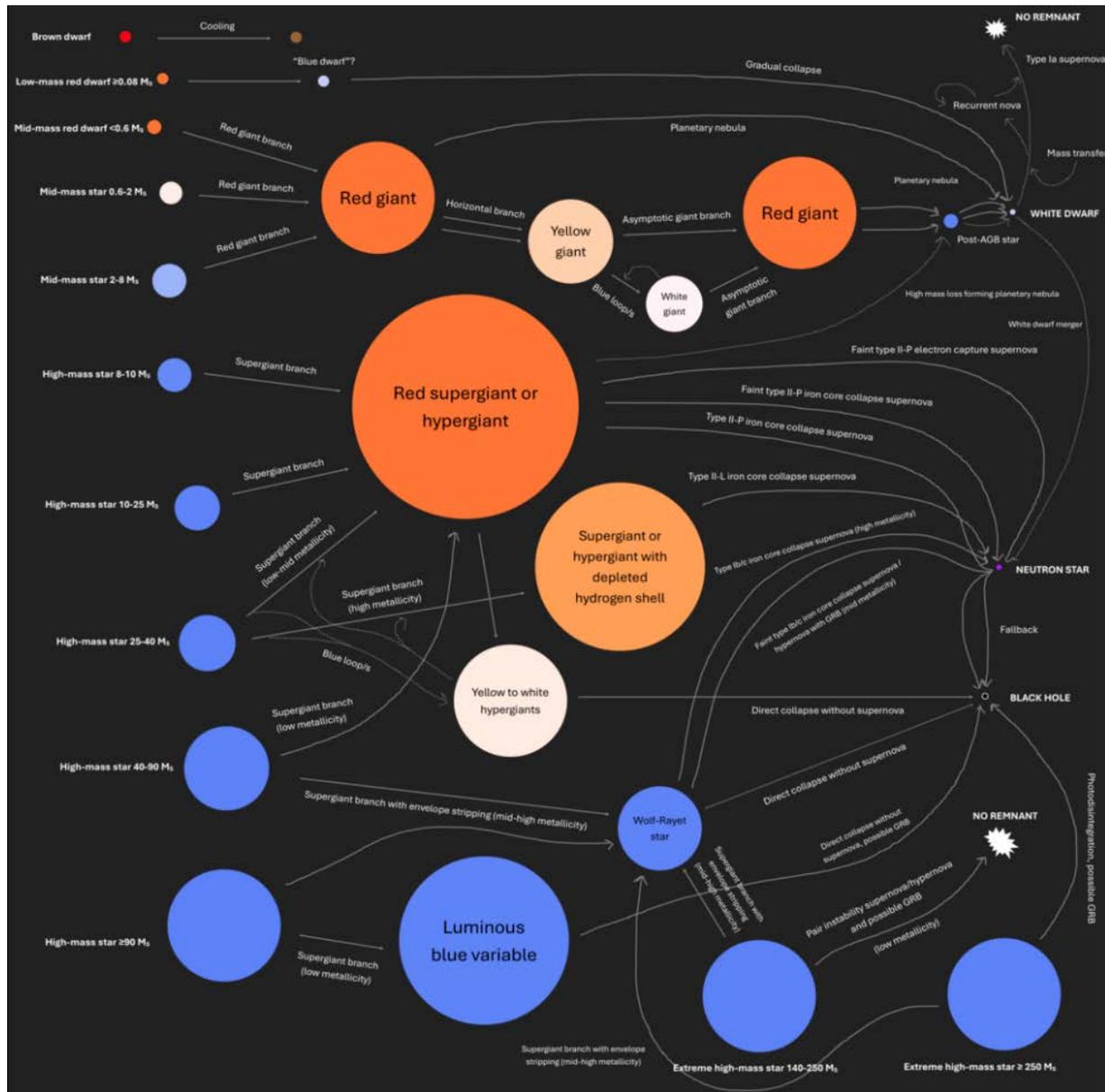
Connaissances actuelles sur le collapse d'une étoile pour les étoiles supergéantes

Différents processus sont à l'œuvre selon la masse initiale de l'étoile. Comme le montre le graphique de la page suivante, on peut aboutir par exemple à une étoile à neutrons à partir d'une étoile supergéante dont la masse est initialement entre 8 et 40 Masses solaires. Quand l'énergie thermonucléaire arrive à court de carburant, l'étoile va se transformer en Supernova, émettre une quantité phénoménale d'énergie et de matière, et il restera une étoile à neutrons de moins de 3 Masses solaires, soutenue uniquement par la pression de Pauli : il s'agit de pure matière nucléaire, qui est principalement composée d'un gaz de neutrons dit « dégénéré » avec une faible proportion de protons, électrons et muons. La densité est alors de l'ordre de celle d'un noyau d'un atome de Fer ($2 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$).

Dans notre physique actuelle, les étoiles hyper massives au-delà de 40 Masses Solaires doivent poursuivre leur effondrement en trou noir sans passer par la case Supernova. (Notons que dans le schéma ci-dessous ne figure pas la formation de trous noirs galactiques supermassifs comme ceux supposés exister au centre de certaines galaxies et observés par l'EHT).

Comment envisager un effondrement direct sans supernova, sachant que nos théories actuelles supposent un aller simple vers le trou noir ? Quelle serait l'alternative ? La réponse d'A Mitra est assez subtile.

Pour que la matière stellaire se comporte comme toujours comme de la matière et non en pur rayonnement, il faut que le rayon R de l'étoile soit toujours supérieur au rayon de Schwarzschild r_s : ceci est conforme à ce qu'a écrit Weinberg dans son livre de 1973.



Ensuite, dans l'hypothèse où la matière se rassemblerait en une singularité, cela signifierait que toute cette matière se rassemblerait en un hypothétique point masse de rayon nul, tout en respectant toujours la condition ci-dessus soit $R > r_s$; alors le rayon r_s doit tendre lui aussi vers 0, ce qui fait que :

$r_s = 2GM/c^2 \rightarrow 0$ soit $M \rightarrow 0$. Mais la matière ne saurait avoir une masse nulle comme un photon : la conclusion est donc qu'un trou noir de masse nulle ne peut se former que de manière asymptotique, soit en un temps infini. Ce effondrement doit donc être quasi éternel, sauf à atteindre des états stables comme les naines blanches et les étoiles à neutrons : un ECO (Eternal collapsing object) s'est formé.

Voici les différences pour A Mitra entre un trou noir stellaire et un ECO, ce dernier étant une boule de plasma très compacte et à très haute température.

Mathematical Black Hole	Eternally Collapsing Object (ECO)
A black hole is a vacuum except for its central singularity.	An ECO is a ball of extremely hot plasma (ionized matter). There is no singularity at its centre.
A black hole has only an imaginary surface, which has an infinite gravitational compactness and an infinitely strong gravitational pull.	The gravitational compactness of an ECO is extremely large but finite. Similarly, the gravitational pull on the ECO surface is extremely strong but finite.
No light, energy or matter can escape a true black hole.	But in the absence of any event horizon, both matter and energy can escape an ECO, albeit with extreme difficulty.

Où passe donc la masse en cours de disparition puisque $M \rightarrow 0$? La réponse est qu'ECO n'a pas d'horizon et peut émettre de l'énergie radiative, même très lentement.

A Mitras explique que chaque étoile possède une certaine luminosité maximale plus connue sous le terme de luminosité d'Eddington. Cette dernière est en fait un débit d'énergie radiative émis par l'étoile, qui équilibre la force gravitationnelle, et qui dépend directement de la masse disponible M . La masse de l'étoile est ainsi peu à peu transformée en radiations qui finissent par s'échapper de l'objet, diminuant d'autant la masse M .

En résumé, du point de vue de certains de nos physiciens comme A Mitra, les trous noirs n'existent pas, et une alternative est même proposée : les objets ultra compacts en phase d'effondrement gravitationnel finissent par évacuer lentement toute leur énergie matière sous forme radiative pour finir par disparaître en un temps quasi infini : ils disparaissent faute d'énergie disponible (car M décroît peu à peu), et comme $M \rightarrow 0$, le rayon du trou noir correspondant r_s tend lui aussi vers 0. Et ce que nous observons seraient des ECO remplis de matière et dont le rayon est très proche du rayon de Schwarzschild, tout au moins au niveau stellaire.

Tout ceci est vérifiable dans la littérature scientifique, et A Mitra a expliqué tout cela en détail dans un livre publié récemment. Mitra, A. (2021). *The rise and fall of the black hole paradigm*. Pan Macmillan.

Ce qui est intéressant, c'est qu'aucun scientifique adepte du modèle du trou noir, n'a pu réfuter les théories d'A Mitra et ses arguments jusqu'à présent. Ce dernier a publié dans des revues de très haut niveau, et ceci malgré la réticence des éditeurs érigés en gardien du temple. La remise en cause du paradigme du trou noir stellaire est en route, et il existe aujourd'hui dans le monde des experts de la RG deux camps pour ou contre les trous noirs, ce qui est tout à fait nouveau, et ce malgré les annonces de l'EHT de ces dernières années, qui (j'insiste) concernent uniquement des noyaux galactiques et non des étoiles.

Voyons maintenant une comparaison de la manière dont collapse une étoile selon A Mitra et selon les Ummites.

Comparaison avec l'effet frontière des Ummites

L'étoile peut-elle compenser son énergie gravitationnelle négative autrement que par des effets quantiques et/ou la conversion d'énergie –matière en énergie purement radiative comme expliqué dans le paragraphe précédent ? Mystère pour notre physique.

Si je reprends les assertions Ummites et les thèses d'A Mitra (en italique), voici ce qu'on obtient :

- L'étoile (ou plutôt ce qu'il en reste au niveau d'un certain seuil) disparaîtrait purement et simplement par effet frontière, sous-entendu frontière entre notre univers et un univers adjacent. *D'après A Mitra, ce qu'il reste de l'étoile serait un ECO dont le rayon tend vers 0 et une masse qui tend vers 0, ce qui n'est pas ce que disent les Ummites.*
- L'effet frontière serait un effet à seuil. Ce seuil dépendrait de certaines caractéristiques physiques. Une pression et un certain champ magnétique intense dont on ne connaît pas la valeur. *A Mitra parle des ECO, qui sont le plus souvent des MECO, c'est-à-dire des ECO Magnétisés.*
- Une fois les conditions réalisées, et malgré l'équilibre atteint entre énergie gravitationnelle négative et énergie radiative positive, l'effet frontière se produirait, et ceci de manière instantanée *Et non en un temps infini comme proposé par A Mitra.*

On peut noter une grande divergence entre les thèses d'A Mitra et les théories Ummites concernant le collapse gravitationnel, même si au final, il n'y a pas d'objet qualifiable de trou noir stellaire !

Il ne pouvait en être autrement, si on pense que l'effet frontière n'existe pas dans notre science. A ce sujet, notons que la mise en œuvre des conditions thermodynamiques proposées, accompagnées de champs magnétiques très intenses, est réalisable aujourd'hui dans des expérimentations mettant en œuvre des **lasers dit PetaWatt en laboratoire**. On ne peut qu'attendre le résultat de ces futures expérimentations, et examiner si la physique connue se comporte alors de manière inattendue ou non. De même, la poursuite de l'investigation des EOS (Equations of State) de la matière ultra comprimée au-delà de $2 \cdot 10^{18} \text{ kg/m}^3$, montrera également si la physique devient difficile à expliquer sur les bases actuelles.

Conclusion de ce chapitre

A.Mitra dont j'ai utilisé les travaux (*) dans cet article, est très loin d'être le seul à mettre en cause l'existence des trous noirs. Il l'a fait de manière rigoureuse en 2000 et il a consacré ensuite toute sa carrière à explorer les conséquences de cette absence de trou noir, en dégageant d'ailleurs de nombreux arguments, le tout sans jamais être contredit sur le plan mathématique, et en étant régulièrement publié dans des revues de haut niveau dites à referee.

Tout comme A Mitra, je suis de ceux qui pensent que le paradigme des trous noirs stellaire est incorrect, et voué à disparaître: les Ummites nous ont annoncé cela il y a presque 30 ans, avec cependant des explications extrêmement différentes et a priori incompréhensibles, car l'effet frontière invoqué reste un mystère complet pour notre science.

Pour l'instant, en ce qui concerne la vie et la mort des étoiles par effondrement gravitationnel, notre physique du collapse des étoiles telle que présentée par A Mitra expliquerait beaucoup de choses, et induirait la non existence de trou noir. Pas besoin d'effet frontière dans l'immédiat.

Concernant ce dernier effet, rien n'est figé, et des expérimentations futures pourraient montrer si la nature se comporte comme les théoriciens s'y attendent ou non, et réviser leur copie en conséquence.

(*) la bibliographie qui accompagne ses travaux est réellement très complète pour les lecteurs intéressés. Il est facile de trouver ses publications sur Google Scholar. Son récent livre de vulgarisation sur ces questions possède également une bibliographie très complète : Mitra, A. (2021). *The rise and fall of the black hole paradigm*. Pan Macmillan.

3) La théorie des plugstars de Jean-Pierre Petit

Prenons maintenant le cas d'un scientifique, ex Directeur de Recherches au CNRS, pour lequel l'effet frontière et l'univers jumeau sont des faits admis. Comment démontrer alors à partir de cela l'inexistence du trou noir et le remplacer par ce qu'il appelle un plugstar ?

Le lecteur intéressé pourra se reporter aux documents suivants disponibles sur HAL :

Jean-Pierre, P., & Hicham, Z. (2024). Plugstars une alternative aux trous noirs.

Petit, J. P., & d'Agostini, G. (2022). Inconsistance mathématique et physique du modèle des Trous Noirs. Le modèle des Plugstars en tant qu'alternative.

J'ai essayé de faire un résumé très synthétique de ce qu'on trouve notamment dans l'article de 2022.

Je passe sur ses commentaires introductifs concernant les observations de l'EHT, car la constitution interne de ces objets est pour l'instant bien mystérieuse et on ne voit pas bien comment appliquer ces observations à la physique d'une étoile en train de s'effondrer.

L'article de 50 pages commence par revenir sur les publications de Schwarzschild de 1916 dont on trouvera les références en **Annexe1**. J'ai positionné dans cette annexe les résultats de l'approche mathématique de Schwarzschild, et notamment sa métrique, trouvée en 1916, et qui n'est pas celle classiquement utilisée dans nos manuels de physique. En effet, SC a introduit une constante fondamentale dans ses calculs, que Hilbert quelques mois plus tard a considéré comme nulle. J'insiste sur le fait que la solution de Hilbert est celle qui figure dans tous les livres de physique, même si on la baptise à tort métrique de Schwarzschild. Mathématiquement, les deux solutions sont parfaitement valables. Mais comme aurait pu le dire Weinberg 65 ans plus tard, la solution de SC donne un système de coordonnées adéquat, sauf au centre : mais de toute manière, il n'existe pas en RG de point masse de densité infinie, comme l'a souligné A Mitra.

Ensuite, la question qui se pose est la suivante : quelle solution est acceptable physiquement ? Il faut plutôt lire alors A Mitra pour comprendre en fait qu'il n'y a pas de vrai paradoxe entre les deux solutions, ce que je rapporte également en **Annexe1** sur la base de ses travaux : la convergence des solutions de SC et Hilbert avec une masse ponctuelle qui tend vers 0 rejoint le corpus des nombreux arguments développés par A Mitra pour démontrer que la notion de trou noir est incorrecte.

Si on revient à l'article de Jean-Pierre Petit, ce dernier refait l'historique sur la naissance du concept de trou noir stellaire, principalement due au fait que les deux articles de Schwarzschild de 1916, écrits en allemand, sont longtemps restés inconnus des physiciens car traduits en anglais autour des années 1999-2000, alors que ceux de Hilbert ont été rapidement assimilés par des physiciens comme Eddington dès les années 1920.

Cette méconnaissance des articles de SC a induit des travaux de physique mathématique générant notamment tout l'édifice mathématique complexe des trous noirs stellaires.

Jusqu'à-là, JP Petit et A Mitras sont d'accord, mais il fallait avoir lu Schwarzschild dans le texte, et il a fallu attendre les années 2000 pour cela !

Maintenant, sachant que les trous noirs stellaires n'existent pas, par quoi les remplacer ? Jean-Pierre Petit connaît parfaitement le dossier Ummite et pour lui, l'effet frontière est un fait admis. Comment l'introduire pour proposer une alternative ?

Il revient alors sur la solution dite intérieure de SC (réf 2 de l'annexe 1). Cette brillante solution de la métrique intérieure d'une étoile trouvée par SC en 1916 n'est cependant pas physique, car elle suppose que la densité interne de l'étoile est constante. En 1939, des physiciens comme Tolman ont trouvé des métriques internes compatibles de ce qu'on appelle l'équation d'état (EOS) de la matière nucléaire, et c'est cette connaissance des EOS qui permet de modéliser par exemple les étoiles à neutrons. Ne jetons pas la pierre à SC : il ne connaissait pas le neutron à l'époque, et encore moins les étoiles à neutrons. Il ne connaissait pas les densités de matière colossales qui y règnent : mais il est remarquable que son travail fournissait déjà les bons ordres de grandeur sur ce sujet.

Bref, JP Petit s'appuie sur la solution intérieure de SC non physique pour la suite de son raisonnement, alors qu'il sait pertinemment que celle-ci n'est qu'un modèle mathématique non physique.

Venons au secours de JPP, et examinons ce que dit Weinberg sur ce sujet en 1973 : le seul intérêt d'examiner ce cas non physique à densité constante est de fournir une limite supérieure infranchissable au rayon de l'étoile (criticité physique pointée par JPP). Conscient de cela, Weinberg cherche alors une solution dans laquelle la densité varie de manière monotone décroissante du centre au bord de l'étoile. Et il trouve alors la même limite que dans le cas d'une étoile de densité constante, sauf que maintenant, celle-ci peut s'appliquer à tout type d'étoile : il est remarquable que pour ce calcul, Weinberg n'ait pas eu besoin d'équation d'état d'aucune sorte !

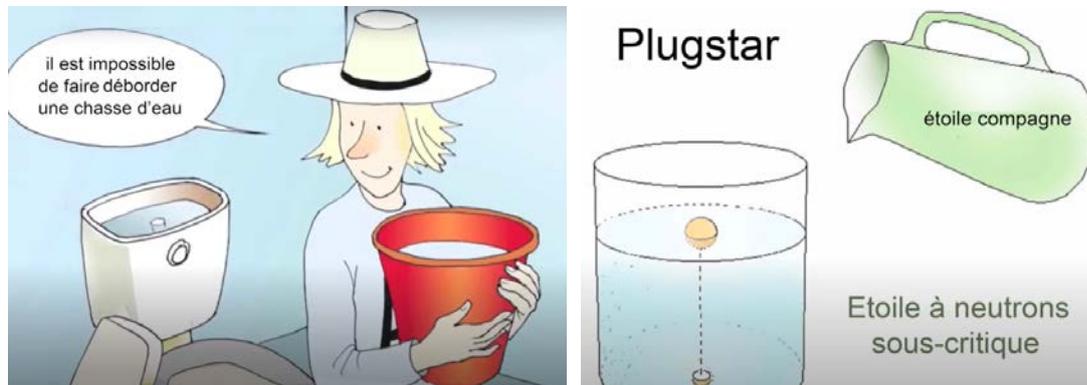
Weinberg en déduit (Voir Gravitation and Cosmology chapitre 11 pages 330- 335) :

- Que le rayon de Schwarzschild, pour tout type d'étoile sphérique et statique, est toujours strictement inférieur à la valeur interdite de $8/9$ du rayon de l'étoile.
- Que le redshift gravitationnel z de tout type d'étoile (non transparente) est tel que $z < 2$.
- Que la pression au centre de tout type d'étoile est toujours supérieure à une certaine limite sans jamais devenir infinie : comme la pression est un scalaire, il n'est pas besoin d'invoquer un mauvais choix de coordonnées, cela ne changera rien au résultat.
- Ce résultat n'est pas applicable à un cluster d'objets compacts en partie transparent à la lumière. Weinberg cite cet exemple de ce qui pourrait constituer un noyau galactique : un nuage de gaz piégé au sein de ce cluster pourrait émettre de la lumière et alors rien n'empêche d'avoir un $z > 2$.

Sans citer Weinberg, et en s'appuyant uniquement sur la solution de SC, JPP déclare lui aussi qu'il n'est pas possible d'atteindre des pressions infinies au centre de l'étoile, ce en quoi il a raison ; et puisqu'il y a une criticité de pression au centre de l'étoile, **et** que l'effet frontière existe pour lui, rien de plus simple : la matière critique passe dans l'univers jumeau sans autre forme de démonstration !

Illustrons son modèle de plugstar à partir de sa propre vidéo ; il compare une étoile à neutrons sous critique à une chasse d'eau (!). Quand on ajoute de l'eau (la matière provenant de l'étoile

compagnon), la bonde s'ouvre et libère une certaine quantité d'eau qui part dans l'espace jumeau par effet frontière....



Comparons ce modèle avec ce que disent les Ummites :

- L'étoile (ou plutôt ce qu'il en resterait tant qu'un certain seuil n'est pas atteint) disparaîtrait purement et simplement par effet frontière, sous-entendu frontière entre notre univers et un univers adjacent. *Pour JPP, l'étoile ne disparaît pas, elle reste dans une sorte d'équilibre sous critique, ce qui pourrait expliquer les étoiles binaires décrites en introduction.*
- L'effet frontière serait un effet à seuil. Ce seuil dépendrait de certaines caractéristiques physiques. Une pression et un certain champ magnétique intense dont on ne connaît pas la valeur. *Pour JPP, il existerait bien une sorte de seuil dont il ne donne pas la valeur, mais celui-ci semble lié uniquement à la pression.*
- La conjonction des deux conditions (pression et champ magnétique) semble nécessaire pour générer cet effet frontière. *JPP ne parle pas de champ magnétique.*
- Une fois les conditions réalisées, et malgré l'équilibre atteint entre énergie gravitationnelle négative et énergie radiative positive, l'effet frontière se produirait, et ceci de manière instantanée. *JPP postule l'effet frontière, mais son modèle ad hoc ne restitue pas l'instantanéité de la disparition de l'étoile.*

On peut noter une certaine divergence là aussi entre le modèle de plugstar de JPP et les théories Ummites, mis à part l'effet frontière invoqué par les deux théories. JPP parle d'une étoile stable sous critique, qui ne disparaît pas du tout et encore moins de manière instantanée.

Conclusion de ce chapitre

Deux choses ressortent des travaux de JP Petit :

- On peut considérer qu'il est d'accord avec A Mitra sur le fait que les travaux de Schwarzschild de 1916 n'ont pas encore été intégrés correctement par la communauté scientifique, car traduits très tardivement en anglais. Moyennant quoi, à l'aide aussi des explications de A Mitra, on peut conclure sur ce simple argument que les trous noirs stellaires n'existent pas (Annexe 1).
- Son modèle de plugstar démarre sur l'hypothèse d'une étoile de densité constante (non physique) et il aboutit à une pression infinie au centre de l'étoile. Il aurait dû relire Weinberg

à ce sujet, dont le raisonnement est bien plus construit et qui arrive à ces mêmes conclusions pour tout type d'étoile. Bref, comme il n'est pas envisageable d'obtenir des pressions qui partent à l'infini au centre de l'étoile, JPP utilise alors de manière ad hoc l'effet frontière pour affirmer péremptoirement que la matière en surpression passe dans l'univers jumeau.

En somme, JP Petit aurait pu se contenter du premier point pour invalider le modèle du trou noir stellaire, et c'était déjà un résultat remarquable. Quant au second point (en supposant qu'il ait lu Weinberg), il a voulu proposer une alternative sans démonstration ; sa conclusion est complètement ad hoc car elle fait appel à l'effet frontière. Encore une fois, concernant ce dernier effet, rien n'est figé, et des expérimentations futures pourraient montrer si la nature se comporte comme les théoriciens s'y attendent ou non, et réviser leur copie en conséquence. On verra alors si les plugstars de JPP ont une chance d'exister.

CONCLUSION GENERALE

En 1987, les Ummites annoncent que les trous noirs n'existent pas. Difficile à avaler à cette époque, durant laquelle le paradigme du trou noir est à son apogée. Ce paradigme fut créé par les physiciens des années 1960-1970 (Penrose, Hawking, Wheeler, etc.), bien que d'autres physiciens comme Weinberg aient indiqué l'existence de nombreuses failles et contradictions dans ce concept. Einstein lui-même, et P Dirac pour ne citer qu'eux, jugeaient d'ailleurs ce concept comme non physique.

Aujourd'hui, le monde des physiciens relativistes est divisé sur la question des trous noirs stellaires, ce qui était impensable il y a 30 ans. Tout comme A Mitra et JP Petit, je suis dans le camp de ceux qui pensent que le paradigme des trous noirs est incorrect, et voué à disparaître, sur la base de considérations simples mais somme toute récentes (Annexe 1).

Les Ummites nous ont annoncé cela il y a presque 30 ans, avec cependant des explications extrêmement différentes et a priori incompréhensibles, car l'effet frontière invoqué reste un mystère complet pour notre science. (Rien ne dit au passage que leurs affirmations soient exactes, car ils nous invitent à réfléchir par nous-mêmes !)

Quelles seraient les alternatives au trou noir stellaire ?

En ce qui concerne la vie et la mort des étoiles par effondrement gravitationnel, notre physique du collapse des étoiles, présentée par Weinberg et complétée par A Mitra, expliquerait beaucoup de choses, et induirait la non existence du trou noir stellaire. Comme alternative, A Mitra introduit la notion de Eternal Collapsing Objects= ECO, ceci pour expliquer ce qui se passe dans la phase finale du collapse d'une étoile. Ce modèle est publié dans des revues de haut niveau et personne ne l'a contredit dans l'immédiat.

Le modèle alternatif de plugstar de JP Petit pourrait expliquer certaines situations comme le couple « étoile à neutron » « étoile massive », ceci en utilisant de manière ad hoc l'effet frontière des Ummites. Sa démonstration approximative laisse à désirer, ainsi que son dénouement final totalement ad hoc, mais son intuition est intéressante si l'effet frontière existe.

Concernant cet effet frontière, notons que la mise en œuvre de conditions thermodynamiques extrêmes, accompagnées de champs magnétiques très intenses, est réalisable aujourd'hui dans des

expérimentations mettant en œuvre des **lasers dit PetaWatt en laboratoire**. On ne peut qu'attendre le résultat de ces futures expérimentations, et examiner si la physique connue se comporte alors de manière inattendue ou non. En parallèle, la poursuite de l'investigation des EOS (Equations of State) de la matière ultra comprimée au-delà de $2 \cdot 10^{18} \text{ kg/m}^3$ montrera également si la physique devient difficile à expliquer sur les bases actuelles.

Le tableau suivant résume les différents concepts développés dans cet article, en partant du paradigme actuel des trous noirs stellaires, en passant par les ECO, les Plugstars jusqu'aux théories Ummites. Donc du paradigme actuel aux hypothèses les moins démontrées pour ne pas dire bizarres.

Ce tableau est évidemment très synthétique, mais il montre aussi que si l'effet frontière existe (ainsi que l'espace jumeau), peut être le découvrira-t-on à l'aide des ondes gravitationnelles émises lors de la transition de matière stellaire vers l'univers jumeau.

	Black Hole	ECO	Plugstar	Ummites
Nature de l'objet	Vide sphérique avec une singularité centrale	Etoile à plasma sans singularité centrale	Etoile à neutrons sous critique	Etoile en route vers des paramètres critiques
Devenir	Théorie de Hawking	Disparition sur un temps très long	Ejection régulière de matière dans l'espace jumeau	Passe alors intégralement dans l'espace jumeau
Observables	Rien n'en sort sauf le rayonnement Hawking non mesurable	Emission radiative et de matière	Ondes gravitationnelles ?	Ondes gravitationnelles ?

Quant aux « trous noirs galactiques », il est bien trop tôt pour se prononcer sur ce sujet.

ANNEXE 1 L'argument que je comprends le mieux concernant l'inexistence du concept de trou noir

Cet argument est aussi bien dû à A Mitra qu'à Jean-Pierre Petit (de manière indépendante !!) et c'est celui que je comprends le mieux : je vais maintenant essayer de le restituer, sachant qu'il s'appuie sur deux articles de Schwarzschild de 1916 qui n'ont été traduits en anglais qu'en 1999 !

Approche mathématique

Schwarzschild a publié sa solution dite du point masse en 1916 (Réf 1).

Elle s'écrit comme suit en coordonnées sphériques :

$$ds^2 = -d\theta^2 (r^3 + \rho)^{2/3} - \frac{d\varphi^2 \sin^2[\theta] (r^3 + \rho)^{2/3}}{(r^3 + \rho)^{4/3} \left(1 - \frac{\alpha}{(r^3 + \rho)^{1/3}}\right)} + dt^2 \left(1 - \frac{\alpha}{(r^3 + \rho)^{1/3}}\right) ;$$

Si on fait abstraction de la constante d'intégration ρ (en faisant $\rho=0$), on retrouve la métrique exposée dans tous les manuels de physique depuis les années 1920. Et en réalité cette métrique avec la constante nulle est due à Hilbert :

$$ds^2 = -d\theta^2 r^2 - d\varphi^2 \sin^2[\theta] r^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)} + dt^2 \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)$$

Quand SC calcule ensuite sa solution intérieure d'une étoile et non plus d'un point masse (Réf 2), il montre que pour bien raccorder les deux métriques intérieures et extérieures, il faut que $\rho = \alpha^3$, sachant que $\alpha = 2 GM/c^2$ en unités SI et représente le rayon de Schwarzschild. Son article en Réf 2 résume tout cela et il n'est pas possible de passer à côté du changement de variables que SC a effectué, à savoir $R^3 = r^3 + \rho$ ni de l'équivalence $\rho = \alpha^3$. **La constante n'est pas nulle et est nécessaire pour raccorder les solutions intérieures et extérieures.**

Le point important est qu'ici R n'est pas la variable radiale car celle-ci est r ; le point masse de SC est situé à $r = 0$ et non à $R = 0$. Ainsi à $r = 2 GM/c^2$, il n'y a évidemment pas de singularité, alors qu'il y a une singularité centrale à $r = 0$ par définition. Puisqu'il n'y a pas d'espace-temps en dessous de $r < 0$, il ne peut y avoir d'espace-temps en dessous de $R < 2 GM/c^2$.

⇒ **La solution de SC aurait été très satisfaisante pour Weinberg.**

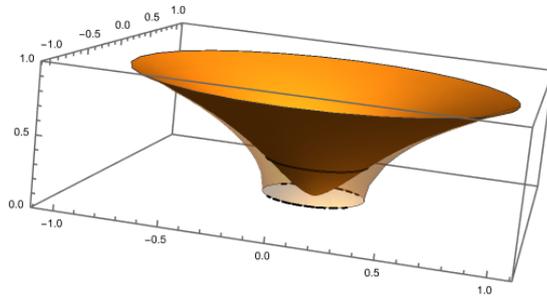
Toutefois, la solution de Hilbert, reste cependant une solution mathématiquement valable, et devient d'ailleurs identique à celle de SC dès que l'on s'éloigne de quelques rayons de SC. Nous allons illustrer tout cela.

Chacune de ces deux métriques peut être représentée graphiquement et nous suivons pour cela le travail de Thomas Muller (Réf 3), pour obtenir ce qu'il appelle un "embedding diagram".

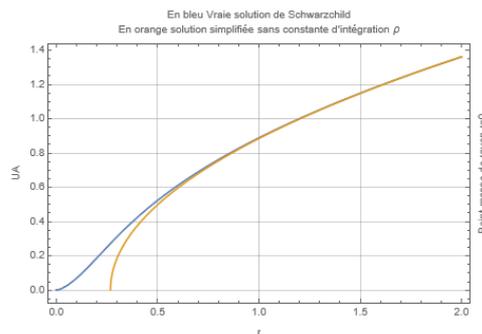
Celui-ci est représenté ci-après avec les commentaires suivants :

- la solution de 1916 est en orange plus foncé ; la surface ne présente aucune singularité même au niveau du point masse qui par définition est concentré en $r=0$. La courbure n'est jamais nulle, y compris à l'origine, car le scalaire de courbure de Kretschmann est partout fini, contrairement à la solution de Hilbert.

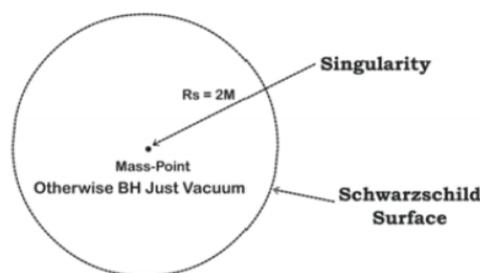
- la solution avec $\rho=0$ conduit à la surface orange transparente, appelée aussi surface de Ludwig Flamm, ou paraboloïde de Flamm (1916), ce qui aboutit à définir un rayon malencontreusement nommé rayon de SC ou rayon du trou noir (cercle en pointillés noirs, reporté en trait plein sur la solution de 1916).



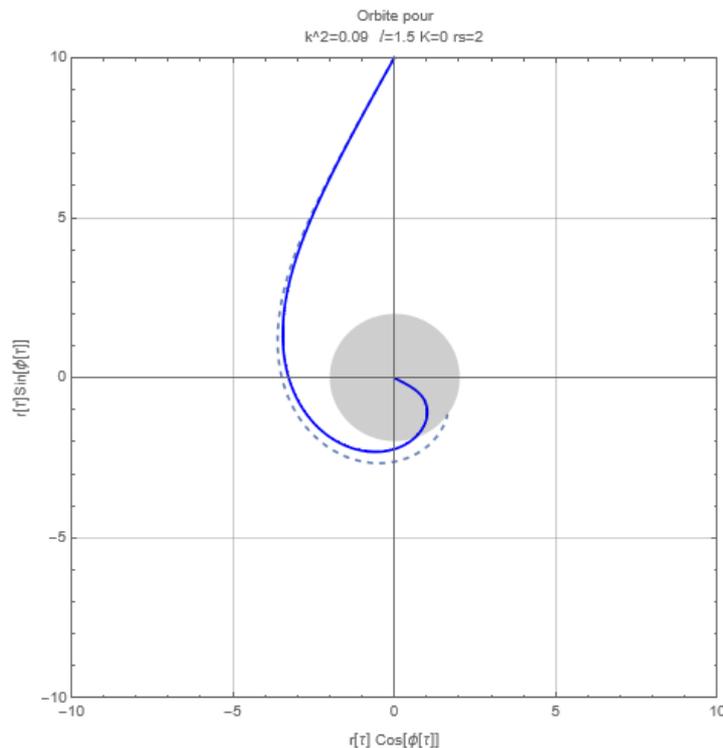
La coupe suivante montre clairement la différence entre les deux métriques. Le raccordement entre les deux solutions se fait très rapidement pour une valeur de l'ordre de 4α . Au niveau du Soleil, cela correspond à environ 12 km du centre de l'étoile, ce qui explique qu'en pratique, il est plus facile de travailler avec la solution R que la solution r dans le système solaire.



On voit bien que la solution de SC (et non celle de Hilbert) permet d'atteindre le point masse alors que celle de Hilbert ne l'autorise pas comme le rappelle le schéma du texte que je reproduis à nouveau. Il existerait alors une sorte de no man's land autour du point masse pour Hilbert.



Si en effet on s'intéresse concrètement aux géodésiques d'un photon pour les deux solutions, comme l'a fait SC, on note l'arrêt de la propagation au rayon dit du trou noir pour la solution de Hilbert, alors que la trajectoire peut aller jusqu'au point masse pour la solution de SC.



De plus, on peut montrer que le photon peut atteindre le point masse en un temps fini dans le cas de la solution de SC.

Approche physique

La question est maintenant de savoir quelle est la solution physiquement la plus acceptable entre celle de Hilbert et celle originale de Schwarzschild.

Comme on l'a vu ci-dessus, la solution de Hilbert engendre un espace-temps imaginaire en dessous du rayon de SC $r_s = 2 G M/c^2$, alors qu'une telle éventualité n'existe pas pour la solution de SC. Et comme on l'a montré pour la solution de SC, un photon peut même se rendre jusqu'au point masse en un temps fini. Pour de nombreux auteurs, ces arguments sont suffisants pour valider la solution de SC et non celle de Hilbert. Si tel est le cas, la notion de trou noir disparaît purement et simplement.

En revanche, il reste un problème avec la solution de SC, comme ce dernier l'a lui-même souligné dans ses publications de 1916 : à la limite des faibles champs gravitationnels, ses équations ne redonnent pas exactement les équations de Newton, alors que celles-ci sont bien restituées par la solution dite de Hilbert !

Alors comment résoudre ce paradoxe ?

Comme l'explique SC lui-même, son résultat découle de l'hypothèse initiale de l'existence très théorique du point masse, d'extension nulle ou réduite à un point géométrique, et de masse gravitationnelle finie.

S'il existe un corps de masse finie, il ne peut pas être considéré comme un point géométrique, ce qui donne une densité infinie non physique. Mais si veut insister sur la notion de masse ponctuelle, alors sa masse gravitationnelle doit être nulle, ou réduite à quelques atomes, ce qui revient au même : le rayon de SC devient nul, et le changement de variables devient $R \equiv r$. Alors les solutions de SC et de Hilbert sont identiques puisque la constante de SC devient nulle.

Cela est acceptable physiquement, même s'il reste une singularité centrale au sens mathématique.

C'est un peu la même chose qu'en électrodynamique classique, où existe la notion de charge ponctuelle (ce qui implique bien entendu une singularité), alors que la théorie quantique des champs ne considère pas l'électron comme un point chargé.

Cela signifie qu'en Relativité Générale, la notion de point masse (masse de valeur finie) n'existe pas, mais tout comme en électrodynamique classique, cette notion est bien utile pour établir certains comportements gravitationnels de la matière, comme l'a fait SC. Son approche est totalement compatible du calcul de la précession résiduelle du périhélie de Mercure comme il l'indique lui-même.

Au final, la convergence des solutions de SC et Hilbert avec une masse ponctuelle qui tend vers 0 rejoint le corpus des nombreux arguments développés par A Mitra pour démontrer que la notion de trou noir est incorrecte.

Références

1 Schwarzschild, K. (1916). Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. Sitzungsberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften, 189-196.

2 Schwarzschild, K. (1916). Über das Gravitationsfeld einer Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit nach der Einsteinschen Theorie. Sitzungsberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 424-434.

3 <https://arxiv.org/abs/0904.4184v3> Catalogue of spacetimes Thomas Muller Nov 2010