

VOYAGE AU CŒUR D'UN TROU NOIR 1

En noir = la journaliste

En bleu = Alain Riazuelo

(1.10) = temps de vidéo, ici, une minute et dix secondes

Un trou noir, nous pouvons l'imaginer sans mal grâce aux représentations existantes, vortex géants ou disques noirs, cernés d'effets lumineux, tous plus ou moins spectaculaires. Ces représentations communes sont souvent inexactes voire fantaisistes, comme nous allons le voir avec Alain Riazuelo. Nous allons faire avec lui un voyage vers un trou noir, et nous approcher au plus près jusqu'au bord et même au-delà... Mais avant de démarrer ce voyage fabuleux, une première question : Alain, qu'est ce qu'un trou noir ?

Un trou noir c'est une région de l'espace où règne un champ gravitationnel tellement fort que rien ne peut s'en échapper, ni un objet matériel, ni une fusée qui serait équipée d'un moteur très puissant, ni même un rayon lumineux. Donc, cette région, du fait qu'on ne peut pas en sortir et du fait que la lumière ne peut pas en sortir, on l'appelle très naturellement trou noir. **(1.10) NES D'UNE ETOILE.** Alors il y a deux classes de trous noirs qui sont identifiées dans l'univers, il y a ce qu'on appelle les trous noirs stellaires, qui sont donc ces cadavres d'étoiles qui parsèment toutes les galaxies dont le nombre est probablement élevé, même si on le connaît pas bien exactement..

Vous voulez dire qu'ils sont nés d'une étoile ? C'est ça ?

Voilà, voilà, une étoile en fin de vie a toujours tendance à se contracter, et dans certains cas, cette contraction est telle que on a atteint une situation critique où le champ gravitationnel est tel que l'objet se transforme en trou noir. Et la difficulté, c'est que on ne connaît pas bien au-delà de quelle masse une étoile donne lieu à un trou noir et on ne connaît pas bien la proportion de ces étoiles massives qui existent dans notre galaxie. Donc le nombre exact de ces trous noirs, on le connaît pas bien mais il se compte quand même en dizaine voire en centaine de millions. C'est petit par rapport au nombre total d'étoiles dans notre galaxie qui se compte en centaines de milliards, mais c'est quand même un nombre qui est non négligeable.

(2.15) Est-ce qu'il y a des trous noirs près de nous ?

Alors dans notre galaxie, on connaît une petite vingtaine de trous noirs. C'est un nombre assez petit, et ce nombre il est petit, non pas parce que les trous noirs sont rares mais parce que c'est assez difficile de les mettre en évidence.

(2.37) Est-ce qu'on pourrait transformer notre soleil en trou noir ?

Alors notre soleil n'est pas assez massif pour se transformer en trou noir, ceci dit pour donner un ordre de grandeur de ce qu'est un trou noir, pour transformer notre soleil en trou noir, il faudrait qu'on arrive à comprimer toute sa masse dans un rayon de quelques kilomètres, à peu près 3 kilomètres, donc c'est très difficile de faire un trou noir à partir d'une étoile parce que ça nécessite de comprimer l'étoile, ou en tout cas le cœur de l'étoile jusqu'à des densités fantastiques, c'est-à-

dire que il faudrait que chaque centimètre cube du soleil pèse quelque chose comme un milliard de tonnes pour que le champ gravitationnel qui règne alors soit suffisant pour que cet objet devienne un trou noir.

(3.26) Est-ce qu'il existe des trous noirs géants ?

Alors en plus de la plupart de ces trous noirs qui sont le résultante de la mort d'une étoile massive, il semble que dans chaque galaxie, ou en tout cas dans chaque galaxie massive, il existe un trou noir géant qui soit en son centre. **A LA RECHERCHE DE L'INVISIBLE**

(3.52) Mais dans la réalité, est-ce qu'on est sûrs qu'ils existent vraiment ces trous noirs ?

Alors, c'est quelque chose qui a été très longtemps débattu, puisque le concept même de trou noir est très vieux, il a été proposé à la fin du 18^e siècle par deux personnes, qui étaient un français qui s'appelait Laplace et un anglais qui s'appelait Mitchell mais la théorie des trous noirs telle qu'on la connaît, elle est née en 1916, juste après la relativité générale, une des première application de la relativité générale, en fait, a été de trouver ce qu'on ne savait pas encore à l'époque, qui décrivait un trou noir, et ça, ça a été extrêmement débattu à cette époque là, et Einstein était assez réticent à cette idée parce qu'il trouvait ces objets trop bizarres finalement, pour accepter facilement leur existence. Alors évidemment depuis plus de 80 ans les choses ont beaucoup changé, et aujourd'hui on a énormément d'indications sur l'existence des trous noirs. Alors les trous noirs sont des objets qui sont extrêmement petits, c'est-à-dire que il est extrêmement difficile de les imager, parce que ce sont des objets petits qui sont très loin. Le plus gros trou noir, ou en tout cas, le trou noir qui vu depuis la Terre apparaît le plus gros, heu, il est tellement petit que ça serait beaucoup plus facile d'imager un des vaisseaux Apollo qui est posé sur la Lune que de voir ce trou noir. Ceci étant, on peut repérer des trous noirs par l'influence qu'ils ont sur l'environnement. Et l'image la plus convaincante, en tout cas, la plus saisissante de ça elle se situe dans notre propre galaxie, (5.23) si on regarde à l'endroit qui correspond au centre exact de notre galaxie, on voit une région où il y a énormément d'étoiles, donc cette région où il y a énormément d'étoiles, elle ne peut s'expliquer que si on suppose qu'il y a une masse très importante au centre. Or la masse qu'il faut pour expliquer la présence de toutes ces étoiles, est largement supérieure à la masse des étoiles que l'on voit. Donc on a une première indication qu'il existe un objet sombre et très massif au centre de notre galaxie, mais en fait, on peut faire beaucoup mieux, c'est-à-dire que on peut regarder le plus près possible du centre, et voir les étoiles qui sont près du centre. (6.10) Et quand on fait ça, on voit tout un ensemble d'étoiles qui sont animées de mouvements et qui semblent être en orbite autour du centre la galaxie qui est cette croix rouge ici.

(6.20) Est-ce qu'elles orbitent aussi rapidement que cela ?

Alors ça c'est un ensemble de clichés qui a été pris sur 15 ans, donc évidemment en vrai, elles mettent 15 ans à avoir cette trajectoire, mais connaissant la trajectoire exacte de ces étoiles, on peut déterminer quelle doit être la masse qu'il faut mettre au centre pour expliquer ces trajectoires, et cette masse là, quand on l'évalue, on obtient une valeur qui est de l'ordre de 3 millions et demi à 4 millions de fois la masse du soleil. (6.52) or vous voyez que individuellement les étoiles on les voit, or la région centrale elle ne brille pas, donc on a un objet qui est plusieurs millions de fois plus massif que ces étoiles et qui est largement moins lumineux.

(7.04) Et c'est donc ça, le cœur de notre voie lactée ?

Voilà, le cœur de notre galaxie c'est ça, elle est occupée par un trou noir géant. **LE VOYAGE
MATHEMATIQUE**

(7.15) Est-ce qu'on peut s'approcher d'un trou noir ?

Alors s'il ya un trou noir à côté, oui, on peut s'en approcher, malheureusement les trous noirs qu'on connaît sont beaucoup trop loin pour que on puisse espérer dans un temps raisonnable leur rendre visite. Alors par contre, ce qu'on sait faire aujourd'hui c'est simuler ce que verrait un voyageur courageux ou imprudent qui s'approcherait d'un trou noir, et on peut le faire parce qu'on connaît toutes les lois de la physique qui permettent de décrire ce qui se passe au voisinage d'un trou noir.

(7.45) C'est précisément le travail que vous avez réalisé ?

Voilà, et c'est ce qu'on va voir maintenant, c'est-à-dire, l'influence de ce champ de gravitation énorme du trou noir sur son environnement et sur ce que l'on voit, explicitement, quand on est au voisinage de ces objets.

(8.00) Cette simulation, elle repose sur des équations, des équations de relativité générale ?

Voilà, aujourd'hui, les lois de la gravitation qui régissent les mouvements de tous les objets célestes, la structure des étoiles, cette théorie, c'est la théorie de la relativité générale qui a été découverte par Albert Einstein il y a bientôt un siècle. Et cette théorie prédit l'existence des trous noirs et permet d'expliquer leur structure détaillée et l'influence qu'ils ont sur leur environnement.

(8.31) Dans cette simulation, vers où allons nous nous diriger ?

Alors on va supposer qu'il existe un trou noir assez massif, qui est situé dans la direction de l'étoile Epsilon Eridani.

(8.41) Pourquoi Epsilon Eridani ?

Alors pourquoi, parce que c'est une étoile assez proche du soleil, elle est à quelque chose comme 8 ou 10 années lumière du soleil, donc c'est la banlieue proche du soleil, et de ce fait c'est une étoile très connue parce que beaucoup d'ouvrages de science fiction s'y réfère, et par exemple dans Star Trek, c'est une étoile qui a été présentée à une époque comme étant le lieu de naissance de M. Spock. **(9.00) A LA VITESSE DE LA LUMIERE.** Dans Un premier temps, on va simplement voir, alors que le trou noir est encore trop loin pour être visible, ce qui se passe quand on accélère à des vitesses extrêmement élevées.

Elevées c'est-à-dire très proche de la vitesse de la lumière ?

Voilà, admettons 99% de la vitesse de la lumière, ce qui est quasiment le maximum auquel on peut aller, puisque les lois de la physique nous disent qu'on ne peut pas aller à la vitesse de la lumière et au-delà, dès qu'on a une certaine masse.

Si nous étions astronautes de ce voyage, est-ce que nous pourrions survivre à cette accélération ?

En principe non, parce que l'accélération serait tellement violente que on ressentirait exactement la même chose que quand on heurte à un mur ou n'importe quel obstacle, et ou on est décéléré très violemment. En fait l'accélération que l'on subit est telle que en principe le corps humain serait instantanément détruit par la violence du choc qui serait alors ressenti. Bon, on va supposer, puisqu'on suppose déjà qu'on va à la vitesse de la lumière ou peu s'en faut, que on a aussi une technologie qui permet de protéger les organismes et de se rendre sans trop de risques à de grandes distances sans être écrasés par cette accélération. (10.19) La chose qui frappe le plus quand on commence ce voyage, c'est que alors qu'on s'approche de l'étoile Epsilon Eridani, tout le décor qui est autour, c'est-à-dire toutes les constellations comme Sirius, Orion, le Taureau, l'ensemble du ciel semble se rétrécir dans la direction où on va. Alors ça c'est un résultat assez surprenant puisqu'on aurait tendance à dire si ces objets deviennent plus petits, est en train de s'en éloigner... En fait c'est le contraire, et le phénomène qui se passe, on l'appelle l'aberration de la lumière et c'est exactement le même phénomène auquel on assiste sur une autoroute lorsqu'on est en voiture et que la pluie tombe. Quand on est immobiles la pluie tombe à la verticale et à mesure que l'on va de plus en plus vite, la direction apparente de chute des gouttes d'eau, c'est plus la verticale, mais c'est une direction qui bascule peu à peu vers l'avant de nous, et quand on va vraiment très vite sur l'autoroute, on a quasiment l'impression que la pluie tombe à l'horizontale. Et ce qui est vrai pour la pluie est également vrai pour la lumière, et donc, on a cette impression étrange que les objets qui sont situés essentiellement sur le côté passent devant nous, tout simplement parce que la direction apparente de la lumière qu'ils émettent change à mesure que nous allons de plus en plus vite.

(11.36) Là, par exemple, on voit un anneau, est-ce que c'est la voie lactée ?

Alors cet effet d'aberration, il est tellement important que même la voie lactée qui traverse tout le ciel et qu'on ne peut donc pas voir en totalité si on regarde dans une direction donnée, eh bien même la voie lactée, elle va peu à peu intégralement passer vers l'avant de notre champ de vision, et même si il y a des régions de la voie lactée qui sont quasiment à l'opposé de l'étoile Epsilon Eridani, au bout d'un moment ces régions de la voie lactée, vont passer devant nous.

(12.00) Ca pourrait presque nous servir de rétroviseur ?

Oui, d'une certaine façon, quand on va à une vitesse proche de la lumière, la quasi-totalité de ce qui est autour de nous a l'air situé devant nous et donc d'une certaine façon, on voit presque toutes les directions qui sont derrière nous, y a que le point qui est situé exactement derrière nous qui n'est évidemment pas accessible.

(12.36) La couleur des étoiles change également ...

Oui, alors ça c'est un effet qu'on connaît mieux avec le son, on appelle ça l'effet doppler, quand une ambulance ou une voiture de police s'approche de nous le son de la sirène est un peu plus aigu, quand elle s'éloigne de nous le son est un peu plus grave, et il se passe essentiellement la même chose pour la lumière, c'est-à-dire que la couleur de la lumière change légèrement selon que l'on s'approche ou que l'on s'éloigne de la source lumineuse et quand on s'approche d'une source lumineuse, elle devient en général moins rouge et plus bleue, donc on parle de décalage vers le bleu ou de décalage vers le rouge quand on s'éloigne de la source. Et donc, non seulement la lumière change de couleur, elle est de plus en plus bleutée, mais en plus, elle est de plus en plus lumineuse, puisque comme on s'approche d'une région qui émet de la lumière, on reçoit beaucoup plus de

lumière qu'avant, puisque on va vers ce flux de lumière. (13.31) A mesure qu'on s'approche de la vitesse de la lumière, on a le fond du ciel qui est de plus en plus distordu par rapport au fond du ciel que l'on connaît, à tel point que quand on s'approche vraiment très proche de la vitesse de la lumière, on ne reconnaît plus rien. Soit on regarde dans une direction un peu différente de celle où on va et on a un fond du ciel qui est extraordinairement sombre, soit on regarde dans la direction où on va et cette fois, on a un fond du ciel qui est extraordinairement lumineux, au point que on n'arrive plus à rien distinguer.

(14.00) Derrière nous, si on se retournait ? Ce serait totalement noir ?

Derrière nous, ce serait extrêmement sombre, si on regardait le début de la phase d'accélération on verrait les étoiles devenir de plus en plus sombres, devenir un peu plus rouges, c'est-à-dire que d'une couleur blanc bleuté elle deviendrait peu à peu orangées puis rouges et puis, au bout d'un moment elles disparaîtraient parce qu'elles deviendraient trop peu lumineuses pour que notre œil arrive à les voir.

(14.24) **LA LENTILLE GRAVITATIONNELLE.** Là, nous arrivons à destination du trou noir ?

Voilà, donc notre voyage a pris fin, on a décéléré, comme on ne s'est pas trop éloignés du système solaire, on retrouve les mêmes étoiles, à peu près aux mêmes positions que au départ de notre voyage. Sauf que maintenant dans le lointain, on voit une petite région sombre qui se détache sur le fond lumineux, donc comme attendu, la première chose que l'on remarque, c'est cette région parfaitement sombre qui se détache sur ce fond étoilé légèrement bleuté.

(14.59) Il se passe des choses étranges autour du trou noir ?

Alors oui, évidemment, un trou noir c'est pas juste un objet, un cache parfaitement noir qui serait situé devant une image. Comme le trou noir est muni d'un champ gravitationnel très intense, il empêche la lumière de s'échapper quand elle est dedans, mais il affecte aussi la trajectoire de la lumière qui passe dans son voisinage. Et donc au voisinage du trou noir, ce que l'on voit, ce sont des rayons lumineux qui sont passés très près du trou noir et qui donc n'ont pas voyagé en ligne droite comme de coutume, mais qui ont été significativement déviés. (15.45) un trou noir défléchit tellement la lumière que un rayon lumineux peut faire le tour d'un trou noir, ou peut faire un demi-tour d'un trou noir. Et donc, quand vous regardez un trou noir, vous allez voir évidemment plus ou moins les objets qui sont derrière lui, mais vous allez aussi voir les objets qui sont derrière vous, dont les rayons lumineux sont passés de derrière vous à devant vous, ont fait un demi-tour autour d'un trou noir et sont parvenus jusqu'à vous de cette façon là. **(16.08) DEFLEXIONS ET DISTORTIONS.** Alors pour bien voir ce qui se passe aux abords d'un trou noir, on va dans un premier temps enlever les étoiles et mettre une sorte de mire pour bien voir les distorsions causées par le trou noir. Donc en l'absence de trou noir, on voit notre mire avec une sorte d'effet de damier, et si maintenant on met un trou noir, voilà ce qu'il se passe. C'est-à-dire que les régions qui sont assez loin de la direction du trou noir ne sont pas spécialement affectées, c'est-à-dire que on reconnaît à peu près la mire de départ, par contre, il se passe beaucoup de choses dans la région centrale. Et si on compare en fait ces deux images, l'image sans trou noir et avec trou noir, on se rend compte que le centre de l'image a été d'une certaine façon repoussé dans toutes les directions, non seulement par la silhouette du trou noir qui se détache en avant plan, mais en plus que autour de cette silhouette là, il y a toute une région de notre mire qui n'était pas accessible au départ. En fait au départ, ce cercle-là ici c'était en

fait un seul carré qui était celui-là. Et donc le trou noir est apparu au milieu de ce carré, et en plus du trou noir est apparue toute une région fortement distordue de la sphère céleste, et cette région-là, elle correspond aux directions d'où sont issus les rayons lumineux qui sont passés très près du trou noir, et comme ils sont passés très près du trou noir, ils ont été fortement défléchis, et ils ont fait éventuellement plusieurs fois le tour du trou noir, avant de parvenir jusqu'à nous. **(17.43) UNE INFINITE D'IMAGES FANTOMES.**

Et qu'est-ce que cela donnerait avec un ciel étoilé ?

Alors sur un ciel étoilé, on verrait essentiellement deux zones distinctes, c'est-à-dire que tant que l'on regarde dans des directions assez éloignées de celle où est située le trou noir, on reconnaît la sphère céleste, si ce n'est qu'elle va être légèrement distordue par la présence du trou noir, et par exemple, on reconnaît bien le disque de la voie lactée, avec le centre galactique mais le disque il est légèrement voilé parce que le trou noir a d'une certaine façon légèrement distordu cette image d'arrière plan. Maintenant si on regarde beaucoup plus près du trou noir, on voit en fait, une seconde image de la voie lactée, et si on regarde bien en fait, on voit une seconde image de toutes les étoiles qu'on voit, par exemple Antares qui est ici, a une image secondaire qui est là, et cette image secondaire elle vient du fait que, non seulement on reçoit un rayon lumineux qui vient d'Antares directement et qui va jusqu'à nous en passant loin du trou noir et donc sans être beaucoup défléchi. Mais il existe aussi des rayons lumineux qui vont passer derrière le trou noir avant d'arriver jusqu'à nous, et nous ce que l'on voit c'est