

En noir = la journaliste

En bleu = Alain Riazuelo

(1.25) = temps de vidéo, ici une minute et vingt cinq secondes

Fin du premier film : 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) ... une seconde image de cette étoile dans la direction d'où nous parvient le rayon lumineux après déflexion, c'est-à-dire ici.

Et peut-on voir plusieurs images fantômes ? ou d'autres ?

Alors oui bien sûr, si on s'amuse à zoomer sur la région la plus interne, on se rend compte que sur le bord de la silhouette du trou noir il y a une sorte de halo lumineux, et ce halo lumineux c'est une seconde image fantôme de la voie lactée. Si on zoome encore plus, on se rend compte que cette seconde image fantôme n'est pas collée à la silhouette du trou noir comme on pouvait le croire au départ. Elle en est en fait un tout petit peu décalée, et si on zoome dans ce petit espace, on se rend compte que on va avoir une troisième image fantôme de la voie lactée, qui elle-même va se détacher de la silhouette, et si on zoome encore plus on va voir une quatrième image fantôme apparaître et une cinquième et ainsi de suite...

Jusqu'à l'infini ?

Et donc il y a une infinité de ces images qui sont de plus en plus distordues, de plus en plus proches du trou noir, de moins en moins lumineuses, mais qui existent, et si on a les moyens de zoomer aussi fort que ça, on va les voir.

(1.25) EN ORBITE. Peut-on rester immobile face à ce trou noir ?

Alors, on peut rester immobile, mais comme le trou noir nous attire, pour rester immobile on va devoir dépenser beaucoup d'énergie. Donc, pour rester au voisinage du trou noir sans dépenser d'énergie, le plus simple c'est de faire la même chose qu'on fait avec un satellite autour de la Terre, c'est-à-dire qu'on se met en orbite, et on va avoir une trajectoire par exemple circulaire, autour du trou noir, sur laquelle on peut rester à peu près indéfiniment.

N'est-ce pas dangereux ?

Alors tant qu'on est loin du trou noir, c'est pas dangereux, parce que le champ gravitationnel loin d'un trou noir, c'est exactement le même que celui d'une étoile qui aurait la même masse.

Par exemple, nous sommes à quelle distance ?

Pour savoir à quelle distance on est en fait, il faut regarder à quelle vitesse on tourne autour du trou noir, et ça permet de déduire la masse du trou noir et la distance. Donc ici, on est à une distance de à peu près 2 millions de kilomètres, d'un trou noir qui fait quelques dizaines de milliers de fois la masse du soleil.

(2.35) Et les effets que l'on voit autour du trou noir sont toujours liés à la déflexion ?

Donc c'est toujours pareil, si il y avait pas de trou noir ou si à la place de ce trou noir, on avait un objet de même taille mais beaucoup moins massif, qui ne causerait pas de déflexion, on verrait les étoiles transiter tranquillement de la gauche à la droite de l'écran, tout simplement parce que comme on est en orbite autour du trou noir, en regardant vers le trou noir, on voit le paysage défiler parce que on est en train de tourner. Mais comme il y a ce trou noir, il y a ces effets de déflexion et les étoiles au lieu de transiter suivant une ligne horizontale ici, tout se passe comme si elles essayaient d'éviter le trou noir dans leur trajectoire apparente. Et ça, c'est explicitement les effets de déflexions, avec les effets de démultiplication des images, d'amplification des images, c'est des effets de lentille gravitationnelle, et donc on retrouve tout ce qu'on a vu tout à l'heure, sauf que cette fois, on est en orbite, et c'est une trajectoire qui est parfaitement réaliste.

(3.33) et ce que nous voyons actuellement, c'est bien la voie lactée ?

Alors on est en orbite sur un plan qui correspond au plan de la voie lactée, donc la bande marron jaune qu'on voit ici, c'est la voie lactée. Et ici, le trou noir passe devant, enfin c'est plutôt nous qui passons devant le centre galactique, qui est fortement déformé dont on voit la luminosité considérablement amplifiée, puisqu'au lieu d'être un petit bulbe, toute la luminosité est éclatée sur toute cette région annulaire, et on voit la voie lactée en arrière plan, et on voit à nouveau des images multiples avec ici la voie lactée, et ici sa première image fantôme. Et même quand la voie lactée va sortir de l'écran, c'est-à-dire quand on va regarder dans une direction assez différente du centre galactique, on va encore voir le centre galactique par son image fantôme ici. Et pendant toute l'orbite, on peut suivre le centre galactique alors que sa vraie image est très loin de la direction où on regarde.

(4.49) PLUS PRES. Peut-on s'approcher encore plus de ce trou noir ?

Alors, bien sûr on peut s'amuser à user son orbite pour s'approcher plus près. Et donc par exemple, si on part d'une orbite circulaire, si on s'approche du trou noir, on va le faire en deux phases, on d'abord freiner son orbite, et on va avoir une orbite elliptique, c'est-à-dire une orbite où on s'approche du trou noir à grande vitesse, et où on s'éloigne et on ralentit, et ainsi de suite. Et donc ce que l'on voit est la chose suivante, on a des périodes où on s'approche du trou noir et il devient de plus en plus gros, et d'autres où on s'éloigne. Dans les phases où on s'éloigne, le fond étoilé devient beaucoup moins lumineux puisqu'on s'éloigne, donc il y a cet effet de décalage vers le rouge et de réduction du flux lumineux, et quand on s'approche du trou noir, c'est le contraire, on s'approche du trou noir, mais aussi des étoiles qui sont en arrière plan, donc leur lumière est plus bleue et beaucoup plus intense.

(5.44) Donc on ne va pas tomber dedans ?

Pour l'instant, on ne tombe pas dedans puisque là on vient d'en sortir, et donc une fois que au bout d'un cycle on a réussi à s'en échapper, on peut continuer cette orbite indéfiniment, on va pas subitement se mettre à tomber dedans.

(5.57) Nous avons frôlé le trou noir, et nous n'avons subi aucune perte ?

Pour l'instant nous n'avons subi aucune perte, parce que nous sommes restés à distance respectable. Ceci étant si on s'approche trop près d'un trou noir, on risque de sentir l'intensité du champ gravitationnel du trou noir, non pas parce que il est intense, mais parce que il varie beaucoup sur des petites distances. Et donc un astronaute qui plongerait la tête la première vers un trou noir, sentirait sa tête plus attirée par le trou noir que ses pieds et donc aurait une sensation très

désagréable d'étirement. Et selon, la masse du trou noir et selon la distance d'approche minimale, il risquerait même d'être complètement déchiré par ces effets gravitationnels.

(6.40) UNE SENSATION D'ENVELOPPEMENT. Imaginons que je fasse du saut à l'élastique et que jeme laisse tomber vers le trou noir, que se passerait-il ?

Alors il y a deux réponses possibles, la première c'est est-ce qu'on pourrait s'amuser à entrer dans le trou noir et utiliser l'élastique comme force de rappel pour sortir, alors ça ça marche pas, ça marche pas parce que le champ gravitationnel est tellement intense que quel que soit le matériau dans lequel est fait notre élastique, il va casser. Donc, à partir du moment où je suis à l'intérieur du trou noir, si on essaie de tirer l'élastique, de toute façon, il va casser au bout d'un moment. Maintenant il y a une autre possibilité qui est différente, où cette fois on s'amuserait à se faire attacher à une sorte de treuil et où on voudrait s'approcher aussi près que l'on veut de la limite du trou noir. (7.40) alors dans ce cas là, il se passerait quelque chose d'extrêmement étrange, c'est que à mesure que l'on s'approche du trou noir tout en restant à l'extérieur, on verrait la silhouette sombre du trou noir, d'une part commencer à emplir la moitié du ciel comme ça se produirait si on se posait à la surface d'un objet solide, mais ensuite commencer à nous envelopper nous, et peu à peu la région du ciel où on ne verrait autre chose que le trou noir, c'est-à-dire on verrait le fond étoilé, serait concentrée en un trou, ou une région circulaire de plus en plus petite qui serait au-dessus de notre tête. Donc tout en étant à l'extérieur du trou noir, on aurait cette impression étrange et assez désagréable d'être littéralement enveloppé par cet objet, signe que on est dans une région où les rayons lumineux sont tellement déviés, que un rayon lumineux qui initialement arriverait à l'horizontale par rapport à la surface du trou noir, en fait serait défléchi et arriverait par-dessus, et on le verrait arriver par le haut.

(8.40) ENCORE PLUS PRES ! Finalement nous sommes passés très très rapidement au dessus de ce trou noir, et même si je sais que c'est très dangereux, est-ce qu'on peut encore s'en approcher plus ?

Alors on peut s'en approcher plus, mais on entre dans une région où les orbites sont extrêmement instables, c'est-à-dire qu'une petite erreur de trajectoire peut nous coûter la vie puisque on peut décrocher très brutalement de notre orbite, et tomber dans le trou noir. Alors, si cependant, on a une bonne trajectoire initiale, on peut s'approcher beaucoup plus près du trou noir, mais évidemment ça nécessite d'arriver très vite sur le trou noir. Donc ce qu'on va faire c'est qu'on va partir de très loin pour acquérir une grande vitesse lors de cette chute assez longue sur le trou noir, et cette grande vitesse nous permet, si évidemment on fait l'effort de pas tomber droit dessus mais légèrement sur le côté, elle nous permet de rester autour pendant quelque temps avant de repartir. Donc là, à la distance d'approche la plus courte, on est à deux fois le rayon du trou noir, ce qui est extrêmement court, et on va extrêmement vite, ce qu'on voit là puisque le fond du ciel est extrêmement lumineux, et on va ici à à peu près 70% de la vitesse de la lumière.

(10.00) Et on a fait combien de tours du trou noir ?

Alors là on a fait à peu près trois tours, quelque chose comme ça, ce qui est aussi quelque chose de surprenant, c'est-à-dire que si on utilise les lois de la gravitation universelle qu'on connaît, dans ce genre de trajectoire, on ne devrait faire que un demi-tour, mais ici la structure du champ de gravitation du trou noir est différente de celle prédite par la gravitation universelle puisque elle est décrite par la relativité générale et donc, elle nous permet en fait d'avoir une orbite où on est quasiment en orbite circulaire autour du trou noir, avant d'en être éjectés.

(10.35) Imaginons que je sois dans un vaisseau spatial près du trou noir, si je regarde de côté par un autre hublot, qu'est-ce que je verrai ?

Alors de côté, on voit la chose suivante, là, je regarde sur la droite par rapport à l'image précédente, donc moi je suis en train de me diriger vers une direction qui est à gauche de l'écran et la direction d'où je viens elle est sur la droite. Et donc les objets qui sont plutôt sur la gauche de l'écran sont plutôt devant moi, et les objets qui sont à droite de l'écran ils sont plutôt derrière moi, et comme je suis en train de tourner, on voit ces objets transiter de gauche à droite, et comme les objets passent de devant à derrière, on voit leur luminosité s'atténuer considérablement ainsi que leur couleur qui varie et qui devient de plus en plus rouge. Donc c'est à nouveau l'illustration de ce phénomène de décalage vers le rouge, quand l'objet passe derrière nous.

(11.25) POUR LA SCIENCE ! On a beaucoup tourné autour de ce trou noir, et si on décidait de se sacrifier pour Sciences et Avenir, et d'y aller directement, qu'est-ce qui va se passer ?

Alors d'abord, ça sera un sacrifice un peu inutile, parce que quand bien même on survivrait au passage à l'intérieur du trou noir, on n'aurait pas les moyens d'envoyer son article au journal pour dire ce qui se passe. Donc de toute façon, c'est plutôt pour satisfaire sa curiosité personnelle qu'on ferait ça. Alors si on allait droit vers le trou noir, ben au début, il se passe rien de particulier, le trou noir devient de plus en plus gros, parce qu'on s'en rapproche et le fond du ciel devient de plus en plus lumineux, et ça c'est normal. Maintenant il y a un moment où je vais atteindre ce point de non-retour, c'est-à-dire que je vais entrer dans la région d'où je ne peux plus ressortir. Alors ce point de non-retour là, ne se traduit pas par un effet observable.

(12.18) On ne peut pas le repérer ?

Non, on ne peut pas, c'est exactement comme un nageur qui voudrait traverser une rivière en aval de laquelle il y a une chute d'eau, s'il se met trop près de la chute d'eau il y a un moment donné où il ne pourra plus revenir sur la rive et où il est inéluctablement voué à aller dans la chute d'eau et à mourir, mais le moment où il s'approche de trop près ne se traduit pas par un effet observable. Et ici, c'est exactement la même chose, et donc dans la simulation, voilà, on représente par un flash vert le moment où on franchit ce point de non-retour et il y a rien de notable qui se passe entre avant et après ce moment-là.

(12.56) Désormais nous sommes condamnés ?

Oui voilà, désormais nous sommes condamnés, là on a arrêté l'image, mais on continue à progresser vers le centre, mais nous sommes condamnés, c'est-à-dire que si on essayait de faire demi-tour, et qu'on regardait derrière nous, et bien on verrait un peu ce qu'aurait vu notre astronaute au bout de son élastique, c'est-à-dire qu'on verrait peu à peu le ciel, enfin en tout cas l'horizon du trou noir nous envelopper, sauf que on atteindrait le centre du trou noir avant d'arriver à sortir du trou noir et on serait à ce moment-là détruits par ces effets de déchirement créés par le champ gravitationnel. Et donc voilà, au bout d'un moment le trou noir devient de plus en plus gros, donc il occupe tout l'écran donc là c'est pas très intéressant. Ce qui est plus intéressant c'est ce qui se passe sur le côté, donc si je remonte la même séquence en me plaçant sur le côté, (13.45) donc là je regarde du côté droit, je suis en train de tomber sur le trou noir qui est à gauche ici, donc au début, il ne se passe rien de notable, si ce n'est que j'ai l'impression que les étoiles avancent ici, donc ça c'est le phénomène d'aberration qu'on a vu tout à l'heure, c'est-à-dire que comme j'accélère vers la gauche, j'ai l'impression que les objets qui étaient sur la droite passent devant moi, et puis sur la gauche de l'image, je commence à voir un ciel de plus en plus lumineux, là je vois apparaître la région sombre qui délimite la silhouette du trou noir.

(14.20) c'est ce qu'on appelle l'horizon du trou noir ?

Voilà, c'est ce qu'on appelle l'horizon et à mesure que le temps passe en fait, j'ai cette impression très bizarre du ciel qui me tombe littéralement sur la tête et qui devient extrêmement sombre avec une seule région qui elle est extraordinairement lumineuse, ce qui est entre l'horizon du trou noir et le ciel.

(14.38) Désormais nous sommes perdus ?

Voilà désormais nous sommes perdus, on a vu le petit flash vert qui signale le passage de l'horizon, qui n'existe pas en réalité, qui est juste là pour montrer à quel moment ça se produit. Et la dernière chose que l'on voit c'est ceci, avec un ciel très sombre d'un côté parce que c'est le trou noir, un ciel très sombre de l'autre parce que le ciel est très décalé vers le rouge, il n'y a plus de lumière, et juste un cercle extraordinairement lumineux qui nous entoure. Et c'est ça la dernière chose que l'on voit avant de heurter le centre du trou noir où on est inéluctablement détruits.

(15.11) **DE LA REALITE A LA SCIENCE FICTION.** En science fiction certains trous noirs permettent de passer d'une région de notre univers à une autre, est-ce que c'est possible ?

Alors passer d'une région à l'autre de l'univers, c'est probablement pas possible. Ce qui se passe, c'est que les trous noirs ne sont pas forcément des impasses où on est voué à une mort certaine, c'est-à-dire que dans certains cas un trou noir peut être une sorte de point de passage d'un endroit à un autre, mais ces deux endroits ne peuvent pas être dans le même univers. Parce que s'ils étaient dans le même univers en fait, on pourrait aussi s'en servir de machine à remonter le temps, et ça on a toutes les raisons de penser que ça n'est pas possible. Par contre, il est tout à fait « possible », du moins en principe, qu'un trou noir permette de passer d'un univers à l'autre. Alors de tels objets, on n'appelle plus ça des trous noirs, mais on appelle ça des trous de ver. Et il semble que de tels objets puissent exister, au sens où quand on regarde la structure mathématique des équations qui décrivent les trous noirs ou les trous de ver, on ne trouve pas d'incohérence dans ces configurations de trous de verre.

(16.23) La théorie autorise, enfin n'interdit pas l'existence de ces trous de ver ?

La théorie n'interdit pas. Mais elle ne dit pas s'ils existent et elle ne dit pas comment ils pourraient se former. Or quand maintenant on essaie de regarder quelles devraient être les conditions pour que ces objets se forment, on n'arrive pas à trouver de situations qui sont favorables à leur formation. Donc on a des objets qui sont finalement très théoriques puisque ils peuvent exister, mais on a de bonnes raisons de penser qu'ils n'existent pas.

(16.58) Maintenant si on essaie de rentrer dans ce trou de ver ? Qu'est-ce qu'on verrait ? Est-ce qu'on sait ce qu'on verrait ?

Oui on sait, enfin on sait... on peut calculer ce qu'on verrait. Donc si on reprend l'épisode de l'astronaute qui décide de plonger dans un trou noir, dans un premier temps il verrait exactement la même chose que dans un trou noir, mais au moment où il arriverait à l'horizon du trou noir, c'est-à-dire qu'il franchirait ce point de non-retour, au lieu d'être voué à une mort certaine, il verrait en fait apparaître un autre univers, et cet autre univers, il aurait peut-être l'espoir de le visiter, mais ça, c'est une autre histoire.

Film conçu par Alain Riazuelo et Sylvie Rouat