La physique du film Interstellaire

par Stéphane Durand

Complément à ma chronique de Radio-Canada
http://www.crm.umontreal.ca/~durand/carnets-insolites.html
(chronique no 95)

Attention, certaines explications révèlent les punchs du film !!

Je ne critique pas ici le scénario, la trame dramatique ou le jeu des acteurs. Il s'agit uniquement de commentaires sur la physique en jeu dans le film.

1) Concernant la simulation du trou noir, il manque l'effet Doppler de son disque d'accrétion. Elle n'a pas été incorporée pour rendre la simulation plus esthétique dans un film grand public. Un article scientifique paraîtra bientôt incluant cet effet Doppler.[1]

2) Dans le film, il y a une forme de retour dans le passé parfaitement cohérent (il s'agit d'une communication utilisant des ondes gravitationnelles). En général, dans la plupart des films de science-fiction qui abordent ce thème, le scénario contient des contradictions. Pas ici; cet aspect du film est très bien construit. Mais sous-entendu dans le scénario, pour éviter les paradoxes, il y a le fait que le libre-arbitre n'existe pas. Cela parait à peine dans le film, si on n'y prend garde. (D'ailleurs, qui vous dit que vous aviez le choix... de ne pas lire ce paragraphe!)

3) La partie du film sur le trou noir est très réaliste. Celle sur le trou de vers est spéculative. Celle sur la communication dans le passé est très spéculative (mais cohérente).

4) Un trou de vers usuel n'est pas stable et n'est pas traversable sécuritairement par des humains. Par contre, un trou de ver non-standard, formé de matière exotique, peut être stable et sécuritaire. On sait que la matière exotique est permise par la mécanique quantique et existe à petite échelle, mais personne ne sait si elle peut être produite à grande échelle.

5) En 1988, Kip Thorne (le physicien qui a travaillé sur le film) a publié un article spectaculaire dans la plus prestigieuse revue de physique (*Physical Review Letters*) : un article qui a brisé le tabou scientifique des voyages dans le temps (ceux dans le passé; car ceux dans le futur sont permis par le ralentissement du temps). Il a montré deux choses : comment construire un trou de vers sécuritaire (avec de la matière exotique) et, surtout, que tout trou de vers est transformable en machine à voyager dans le temps.

Voir la première référence ici :
http://blogues.college-em.qc.ca/voyages-temps/references

Ou une vidéo vulgarisée ici :
http://blogues.college-em.qc.ca/voyages-temps/2011/12/14/comment-construire-une-machine-a-voyager-dans-le-temps

---

[1] Voici une ancienne et très belle animation par Jean-Pierre Luminet et Jean-Alain Marck, avec un disque d'accrétion plus important et incorporant l'effet Doppler : http://youtu.be/5Oqop50ltrM.

6) Lorsqu'on est en orbite (autour d'une planète ou d'un trou noir, peu importe), on est en chute libre, donc on ne sent pas la gravité, même si elle est gigantesque. On sent seulement le gradient de gravité, i.e. l'effet de marée. Plus un trou noir est gros, plus sa densité est faible et plus son effet de marée est petit : par exemple, les deux deviennent très faibles pour des trous noirs super massifs au centre des galaxies. Le trou noir du film a 100 millions de masses solaires, et donc son effet de marée sur une planète se trouvant proche de son horizon est plus petit que le *g* de la planète. Donc la force qui écrase la planète est plus grande que celle qui cherche à la faire éclater. Par conséquent, la planète est déformée mais n'est pas déchirée.

7) L'effet de marée sera donc négligeable sur un corps humain (mesurant seulement 2 mètres) se trouvant sur cette planète ou en orbite dans son vaisseau.

8) Sur la planète Miller, le facteur de ralentissement du temps est de 60 000! (une heure sur la planète = 7 ans sur la Terre).

9) Le disque d'accrétion autour du trou noir est très ténu, donc pas très chaud et “sans danger” pour des êtres sur la planète.

10) La planète Miller ne tourne pas sur elle-même par rapport au trou noir (comme la lune est gravitationnellement “bloquée” par rapport à la Terre en lui présentant toujours la même face), et donc la déformation de la planète ne change pas d'orientation (par rapport à la planète) et ne réchauffe pas la planète. Par conséquent, elle n'est pas le siège d'un volcanisme très actif comme sur le satellite Io.

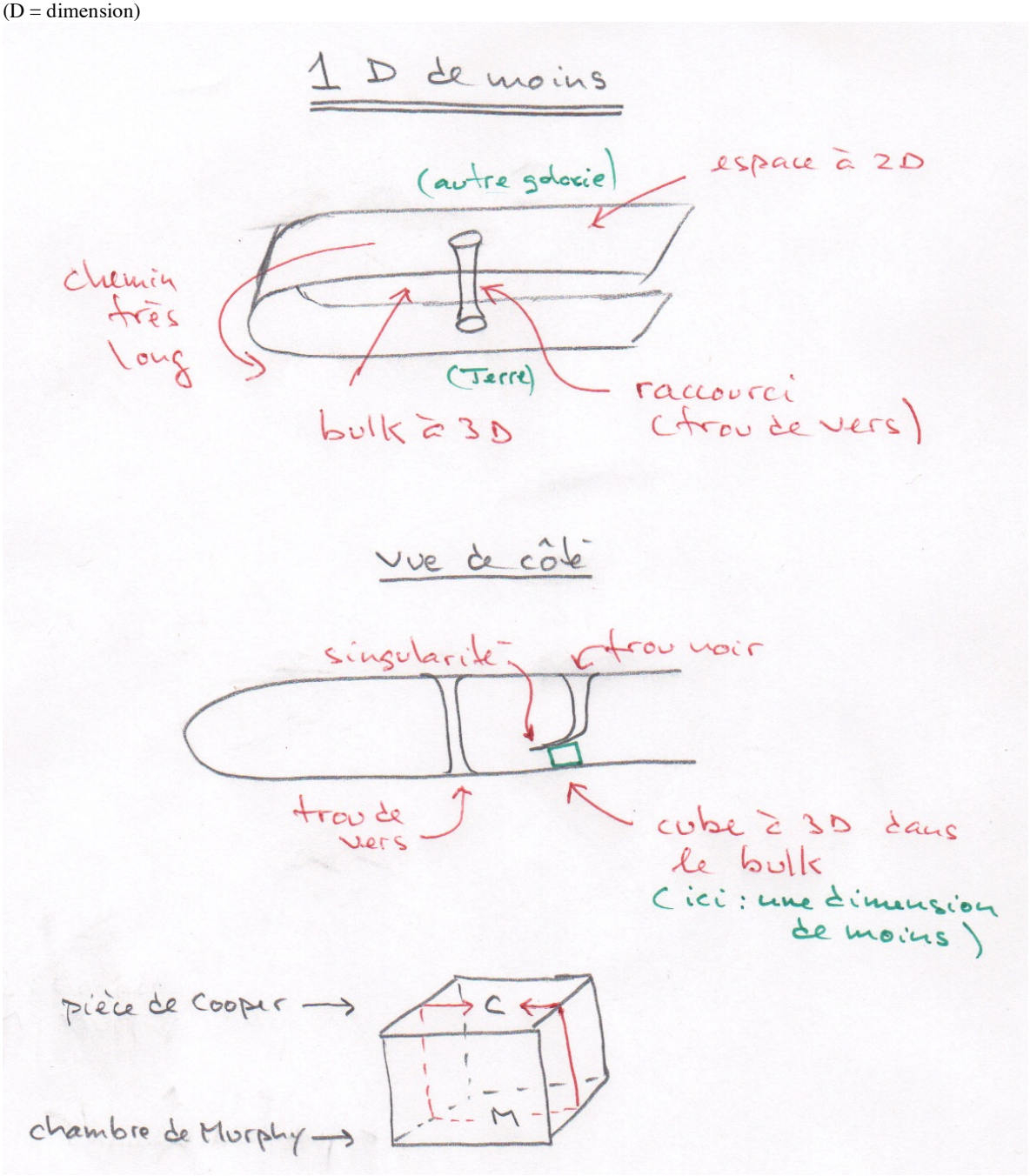
11) Comme on l'a dit, l'effet de marée sur un humain proche de l'horizon du trou noir supermassif est négligeable. Par contre, en tombant dans le trou noir, l'effet de marée augmente de plus en plus. Le trou noir est en rotation, donc sa singularité est annulaire au lieu d'être ponctuelle. L'astronaute évite toute juste la singularité et son gigantesque effet de marée en déviant dans un hypercube à 4 dimensions qui se trouve dans le “bulk”. Ce dernier est l'hyperespace (possédant une dimension spatiale de plus) dans lequel se déploie la déformation de l'espace causée par le trou noir.

12) À partir de ce moment, le film est ultra spéculatif : cet hypercube permet une communication vers le passé (cohérente) en utilisant les ondes gravitationnelles qui sont les seules entités qui peuvent voyager dans le bulk selon la théorie des supercordes et la M-théorie. Néanmoins, la scène dans l'hypercube est proprement hallucinante.

13) Il vaut la peine de méditer sur la construction d'un hypercube qui permet, comme dans le film, d'avoir 6 points de vue différents en même temps sur la même pièce (par les 6 faces d'un cube); voir dessin page suivante.
Et voir ici “l'ombre” à 3 dimensions d'un cube à 4 dimensions :
http://youtu.be/AzL091mZQ-E?t=2m9s

14) Mais comment Cooper réussit-il à revenir dans son espace de départ, hors du trou noir ? Je n'en ai aucune idée... (à moins de supposer que l'hypercube, via le bulk, est en contact avec le trou de vers du début ou qu'il permet une sortie de secours du trou noir directement dans l'espace usuel; ou encore que le trou noir étant en rotation, sa singularité annulaire conduit à un autre trou de ver).

(D = dimension)



Cube versus hypercube :

Avec une dimension de moins, l'espace physique possède seulement 2 dimensions et les pièces physiques sont les 6 faces du cube. Le bulk est l'intérieur à 3D du cube, mais la matière ordinaire ne peut pas circuler dans le bulk. Il y a 4 chemins possibles pour la lumière pour aller de la chambre de Murphy à la pièce de Couper (deux sont indiqués en rouge). Cooper verrait donc 4 images de sa fille Murphy. Dans la réalité, les pièces physiques sont les 8 cubes à 3D formant un hypercube à 4D. Dans un cube donné, il y a 6 chemins possibles pour la lumière, via les 6 faces du cube.