

Voyage dans l'espace et gravité artificielle

En cette fin d'année, entre Noël et le nouvel an, pourquoi pas rêver un peu. L'immensité de l'espace, les voyages interplanétaires, les horizons infinis, le parfum de l'inconnu, ... la gravité paf "on retombe".

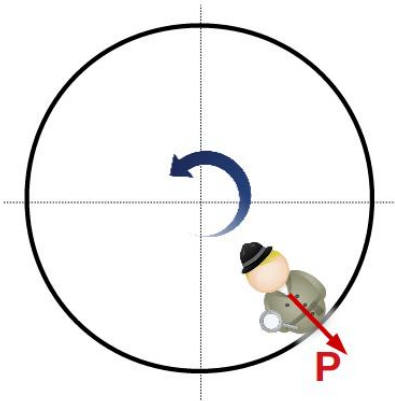
Hier en regardant un extrait de "The Martian", je me suis demandé si ces formidables vaisseaux spatiaux imaginés par le cinéma étaient vraiment réalistes du point de vue de la gravité artificielle créée par la rotation. Deux vidéos exemples :

Autre gigantesque vaisseau spatial dans le film "Elysium"



Pourquoi cette rotation ?

Si vous n'êtes pas à l'aise avec la notion de force, (re)lisez [cet article](#). Dans ce qui nous intéresse actuellement l'inertie de votre corps (ou plutôt celui de l'astronaute) fera que son corps voudra garder un mouvement rectiligne donc comme la station spatiale l'en empêche, il sera "plaqué" contre la "paroi", paroi qu'il verra comme le plancher. C'est le but recherché, donc la question est maintenant cette rotation peut-elle réellement apporter un ersatz de gravité ?



Sur le schéma, c'est un inspecteur qui est plaqué car apparemment il s'en passe de drôle dans l'espace, mais cela n'influence en rien le raisonnement sur la gravité artificielle. C'est la force P , poids ressenti par l'astronaute que nous devons calculer et comparer avec son poids terrestre.

Calcul de cette force de plaquage

NEWTON

Et comme toujours quand on parle de force, de cinématique et de dynamique on en revient toujours au génie de cet [illustre personnage](#). Pour mémoire, il énonça, entre autres, les trois lois qui permettent de prédire le mouvement des objets.

1 • « Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »

2 • *La somme des forces extérieures est proportionnelle à la masse par l'accélération du corps étudié.*

3 • *« Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B ».*

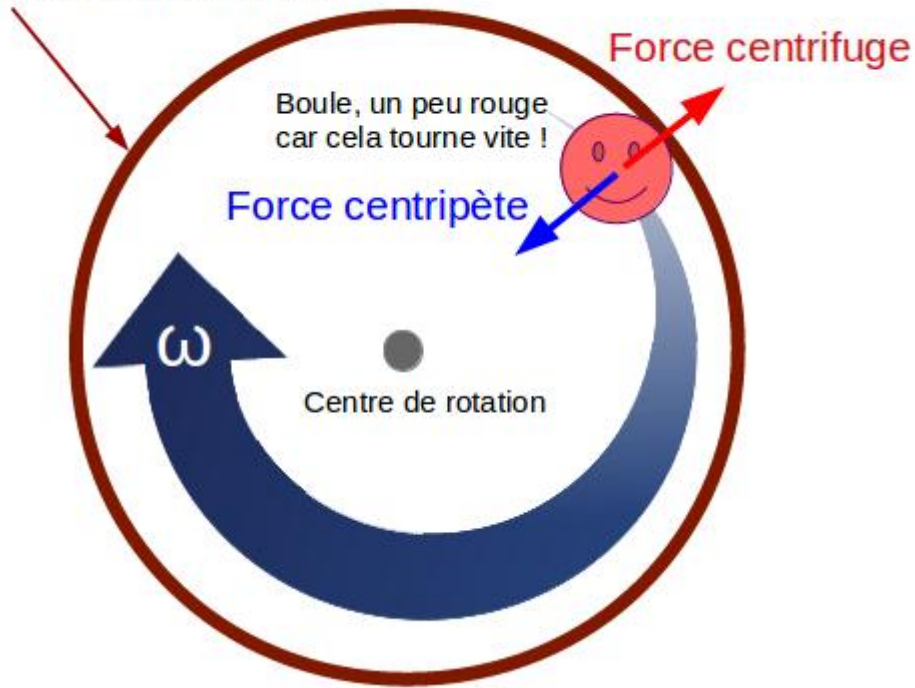
*Selon la première loi, un corps (une boule par exemple) est à l'état de repos si aucune force ne s'exerce sur elle et donc elle ne bouge pas. Pour illustrer cette loi observons une **boule dans le plan** donc ce qui revient à dire que je ne tiens pas compte des efforts dans le plan perpendiculaire à la feuille. Autant vous dire tout de suite que filmer une boule qui bouge pas, c'est très palpitant ☐*

Si cette boule est en mouvement uniforme en ligne droite, nous observerons également une absence de force extérieure. Notez que pour éviter d'avoir à aller chercher votre objet chez le voisin, vous devrez intervenir, donc de lui faire subir une force avant qu'il ne soit trop tard. :-). Vidéo aussi pas très palpitante ☐

Maintenant observons ce qui se passe lorsque l'on veut maintenir la boule dans un cercle. Elle reste plaquée sur le bord de notre cercle et si l'on enlève subitement cet obstacle, elle continue en ligne droite, selon la tangente du cercle. L'anneau maintient la boule à l'intérieur du cercle.

Donc c'est l'anneau qui impose à notre boule une trajectoire circulaire est bien la représentation d'une force qui agit sur la boule pour la maintenir dans le cercle. Un schéma explicatif de la situation :

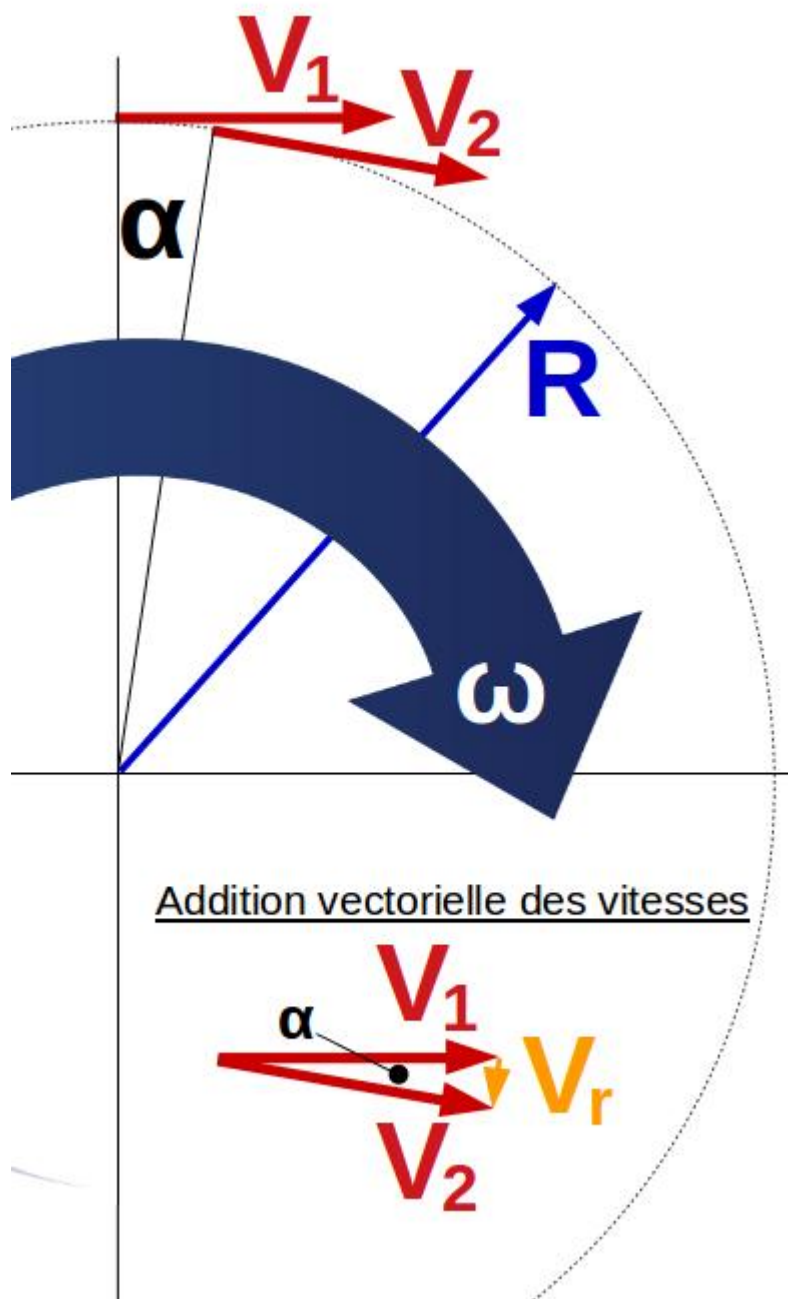
L'anneau, le lien mécanique entre la boule et le centre de rotation



LE CALCUL

Pour ceux qui ne sont pas habitués aux mathématiques et à leurs symboliques, (re)lisez l'article "[somme et variation](#)". Nous ne calculerons que les modules (l'intensité) des forces, leurs directions étant préalablement définies de manières instinctives. C'est un peu arbitraire mais cela simplifiera j'espère la démonstration. L'intensité d'une force est mathématiquement représentée par $|F|$.

Maintenant formulons ce phénomène, comme de bien entendu on part de la formule générale de la physique mécanique $F = m \cdot a$ qui est la représentation de la deuxième loi de Newton en se souvenant que l'accélération est une variation de vitesse (en intensité ou direction).



En suivant le schéma ci-contre on comprend que seul la direction de la vitesse change. Cette différence entre la vitesse V_1 et la vitesse V_2 est définie comme V_r . Cette vitesse V_r dépend bien évidemment de l'angle α entre V_1 et V_2 ainsi que de l'intensité de la vitesse. Comme l'angle α est très très petit (tend vers zéro), l'intensité de la vitesse V entre les points 1 et 2 ne varie pas (cas idéal), donc l'intensité $|V_r| = |V| \cdot \sin(d\alpha)$ et α étant minuscule $|V_r| = |V| \cdot d\alpha$.

Mais $d\alpha$ dépend de la vitesse de rotation donc $d\alpha = \omega \cdot dt$ avec ω la vitesse angulaire de rotation, ce qui est un peu un pléonasme "vitesse angulaire de rotation" mais bon l'essentiel c'est que vous suiviez le raisonnement.

On arrive donc : $|V_r|=|V|\cdot\omega\cdot dt$ ce qui permet d'écrire que $|V|\cdot\omega = d(|V_r|)/dt$

En combinant la loi $F=m\cdot a$ avec l'accélération "a" comme une variation de vitesse $d|V_r|/dt$ on arrive à ce qui nous intéresse soit :

$$F = m \cdot |V| \cdot \omega$$

il ne reste plus qu'à comprendre que l'intensité de la vitesse tangentielle ($|V|$) est proportionnel à la vitesse angulaire et au rayon de la trajectoire circulaire, soit $|V|=\omega\cdot R$ et donc nous arrivons finalement la célèbre formule de la force centrifuge (respectivement de la force centripète égale mais de signe opposé).

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

ON TESTE NOTRE FORMULE

Quelques mots pour ce type de calcul : N'oubliez pas de prendre les unités du SI ([voir article](#)) en particulier pour la vitesse de rotation qui sera en radian par seconde (1 r/s = 9.5493 tr/min) si vous avez quelques problèmes voir [ici](#).

Si l'on prend le film "The Martian" et en regardant l'extrait ci-dessus, on peut estimer la vitesse de rotation du vaisseau à : 6 sec pour un quart de tour, soit 24 sec/tour ou autrement dit : 0,26 r/s. Le rayon je l'estime à environ 64m (estimation faites par rapport à la hauteur de l'étage de vie). Une masse de 80 kg pour un astronaute normal (c'est arbitraire). La force qui représentera le poids ressenti sera alors de : $80 \cdot 0.26^2 \cdot 64 = 346 \text{ N}$ soit une "gravité" d'environ la moitié que celle sur terre. Mes estimations sont très approximatives, donc on peut conclure pour ce film c'est viable et les gens tiennent debout sans problème, ils ne s'envolent pas !

Pour "2001 l'odyssée de l'espace" nous aurons une vitesse de rotation de 38s/tour soit 0.16 r/s avec un rayon d'environ 240m un ressenti d'environ 60% de la gravité terrestre.

Soit un résultat similaire au film précédent, je pense que cela est raisonnable car la rotation demande de l'énergie et une pesanteur moindre est suffisante pour une bonne sensation, pour ce que j'imagine, je n'y suis jamais allé ! □ Une remarque tout de même dans le film

“2001 l’odyssée de l’espace” c’est l’ensemble du vaisseau spatial qui tourne, donc une fois cette rotation initiée et comme c’est dans le vide, normalement il n’y a plus d’énergie utilisée pour la rotation, c’est une rotation sans fin.

POUR TOUT CALCULER FACILEMENT

Pour ne pas trop vous traumatiser (par des calculs) je vous indique [cette page internet](#) ou vous pourrez jouer avec les chiffres. Vous y trouverez aussi diverses explications redondantes avec les miennes, mais peut-être plus explicites, l’important au final étant votre compréhension de la chose.

Conclusion

Oui, ce que l’on voit au cinéma est plausible ! Bon, il reste à le faire en réalité !

Les vaisseaux spatiaux du cinéma sont nettement plus classe que “notre” station spatiale [ISS](#) avec ses astronautes qui “planent” cela ne fait pas très sérieux et en plus c’est vraiment fouillis, à plusieurs centaines de millions, mais fouillis quand même ! ☐

Si cette thématique vous intéresse, voici un [petit ancien “papier”](#) (+5ans) mais qui pose bien le problème entre la réalité pragmatique et le cinéma.



