Vitesse de libération : pourquoi 11km/s est un mythe

Je crois que je vais retaper un petit coup sur la vitesse de libération…

Qu'on me comprenne bien : je n'ai rien contre le concept de vitesse de libération. Je suis juste chagriné de son utilisation constamment impropre dans les publications, surtout grand public.

Le temps passe et on continue de régulièrement voir fleurir la phrase "Aucun objet ne peut échapper à l'attraction terrestre s'il n'atteint pas la vitesse de 11km/s".

Cette phrase n'est même pas une approximation : c'est une information totalement fausse.

Un premier développement autour de ce concept avait été proposé ici. Je me rends compte qu'un aspect a été omis, je l'ajoute ici.

Vous pouvez être confiant et admettre que la vitesse de libération de 11km/s n'est absolument pas nécessaire pour échapper à l'attraction terrestre. Mais en lisant ce court article, vous comprendrez ***pourquoi****.*

Bonne lecture !

Temps de lecture : approx. 7 minutes



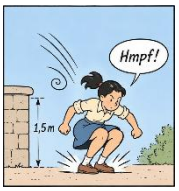
Plus on tombe de moins haut, moins ça fait plus mal



On le sait : il est moins douloureux de sauter d'un marchepied que d'une échelle (vérifiez auprès de vos genoux). Mais pourquoi ?

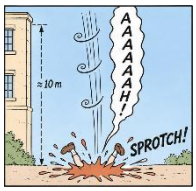
Réponse simple : parce que *"On va plus vite en arrivant par terre quand on saute d'une échelle que quand on saute d'un marchepied"*

Eh bien, croyez-le ou non, **tout ce qui concerne la vitesse de libération est dans cette réponse absurdement évidente**.



Plus vous tombez de haut, plus votre vitesse à l'impact au sol sera grande (attention on ne tient pas compte des frottements de l'air[1]).

On ajoute juste cette règle que tout le monde connaît : plus on est loin de la Terre, moins la Terre nous attire fort[2][3].



[1] Ces frottements sont négligeables en sautant d'un marchepied ou d'une échelle, mais plus du tout si on tombe de plus haut : à tel point que, que vous tombiez du Burj Khalifa ou de la station spatiale internationale, votre vitesse à l'arrivée sera la même ! Mais c'est une digression : dans cet article, on *ignore* bien les frottements.

[2] La Terre est BEAUCOUP plus grosse et massive que la Lune. Pourtant, si vous êtes sur la Lune, vous restez dessus : sur la Lune, l'attraction lunaire est plus importante que l'attraction terrestre.

[3] En simplifiant beaucoup, si la Terre était 600 fois plus lourde qu'elle ne l'est en réalité et que la Lune restait immobile par magie, alors un astronaute debout sur la Lune face à la Terre ne pourrait y rester et décollerait

Il y a des limites à tout

Maintenant que nous avons vu cela, poussons les curseurs au maximum : on vide l'univers de toute sa matière et on ne garde que la Terre et l'objet qui tombe[4]. On emmène cet objet de plus en plus loin de la Terre : là où on emmène l'objet, l'attraction de la Terre est de plus en plus faible. Il y a un moment où l'attraction est tellement faible qu'on peut la considérer comme inexistante[5] : l'objet est à une distance **considérée comme infinie** de la Terre.



Enfin on laisse faire la gravité, si infime soit-elle, et quel que soit le temps que ça prendra. Au début l'objet ne bougera d'abord que de façon imperceptible, et accélérera à mesure qu'il s'approche de la Terre. Et lorsqu'il touchera la surface terrestre, les accélérations qu'il aura cumulées au cours de son voyage lui auront conféré une vitesse d'arrivée de… 11km/s[6] !

Reverse play

Ce qu'il y a de beau avec la physique, c'est qu'elle est, dans la plupart des cas, réversible par rapport au sens du temps : elle est valide du passé vers le futur, mais également du futur vers le passé. On peut donc s'amuser à jouer le film à l'envers. À ce moment-là, ce qu'on observe, c'est un objet qui est tranquillement posé au sol, et d'un seul coup part à une vitesse de 11km/s, s'éloigne de plus en plus de la Terre en ralentissant, puis **s'arrête au point que nous avons considéré comme l'infini**.

Mais alors pourquoi ?

Oui, pourquoi lit-on partout que *"pour s'échapper de l'attraction terrestre, il faut **obligatoirement** atteindre 11km/s"* ? Voici quelques pistes qui tentent d'expliquer la "paresse" des vulgarisateurs, journalistes scientifiques, etc.

Une condition suffisante mais non nécessaire[7]

Les 11km/s sont une vitesse absolue de libération : tout objet qui atteint cette vitesse peut couper tous ses moteurs et laisser la balistique faire son travail : il sera libéré de l'attraction terrestre quoi qu'il arrive. C'est une condition **suffisante**.

Mais ce n'est pas une condition **nécessaire** : un objet qui n'atteint pas 11km/s n'est pas empêché d'échapper à l'attraction terrestre : simplement il ne peut pas "couper ses moteurs et laisser la balistique faire le job". Il doit apporter de l'énergie pour compenser l'attraction terrestre le long de son voyage. Or il n'est pas envisageable d'utiliser un projectile pour la conquête spatiale (cf. Pour aller plus loin). Donc la condition suffisante des 11km/s n'est pas utilisable, et



spontanément vers la Terre, car l'attraction de cette "Terre lourde" serait supérieure à celle de la Lune, même à la surface de notre satellite !

[4] Comme ça on est sûr que l'objet n'est attiré QUE par la Terre.

[5] En réalité l'attraction gravitationnelle ne tombe jamais complètement à zéro, mais il arrive un moment où elle devient tellement faible, qu'on peut même négliger de dire qu'on la néglige

[6] Je sais, on ne s'y attendait pas du tout !

[7] Exemple de condition **nécessaire** : avoir 16 de moyenne au bac est **nécessaire** pour avoir la mention très bien : il n'y a pas d'autre moyen d'avoir cette mention. Exemple de condition **suffisante** : il est **suffisant** d'avoir 10 de moyenne pour avoir son bac : cela fonctionne aussi en ayant 15 de moyenne, mais ce n'est pas *nécessaire*.

c'est pour cela qu'aucun objet envoyé dans l'espace n'atteint 11km/s pour s'affranchir de l'attraction terrestre[8].

Le nom fait le job

"Vitesse de libération" est un terme très explicite qui est immédiatement compréhensible. Il est tentant, dans l'idée de vulgariser, de proposer ce raccourci d'explication : il se lit comme la *définition d'un seuil d'évasion*. Quelqu'un qui n'a jamais vu la formule en déduit naturellement que c'est la vitesse qu'il faut atteindre pour partir. Et le terme induit lui-même la mauvaise lecture.

En clair : l'attrait narratif, simplificateur et explicatif est très tentant pour un vulgarisateur : plutôt qu'expliquer une nuance importante, il est plus confortable d'utiliser un raccourci, si impropre soit-il.

La valeur est facile, la réalité non



Présenter la valeur de 11km/s comme la condition *sine qua non* pour échapper à l'attraction terrestre est confortable : une seule valeur à retenir sans avoir besoin de la comprendre. Le point est que le raccourci présenté comme une vérité conduit le public à l'accepter tel quel et à le propager. C'est ainsi un argument qu'on lit couramment dans les commentaires de publications : *« un cerf-volant ne pourra jamais atteindre l'espace parce qu'il n'existe pas de vent pour le pousser à 11 km/s »*.[9]. Argumenter sur la base d'une prémisse fausse ne peut que conduire à un raisonnement incorrect.

Un concept juste dans un domaine, incorrectement transposé dans un autre domaine

Encore une autre façon de dire les choses : la vitesse de libération de 11km/s est correcte **dans le monde des projectiles**. Donc utilisable dans les discussions autour de la **balistique**. Or c'est un concept qu'on n'utilise **jamais** pour lancer des engins spatiaux[10]. On vulgarise donc quelque chose qui ne sera jamais utilisable dans le domaine courant[11].

Conclusion

La vitesse de libération est le résultat d'un film passé à l'envers

Voilà donc l'exacte origine de la notion de vitesse de libération : **ce n'est pas un concept applicable dans la réalité**. C'est simplement le résultat d'une **expérience de pensée** qui rembobine la chute d'un corps depuis une "distance infinie".

Conceptuellement possible, réalistiquement impossible.

L'interprétation possible est que, si vous disposez d'un super canon capable de projeter un projectile à une vitesse immédiate instantanée de 11km/s, et que vous le laissez vivre sa vie (pas de moteurs, pas

---

[8] C'est plutôt lorsque l'objet n'est *quasiment plus freiné par l'attraction terrestre* que ses moteurs lui permettent d'atteindre des vitesses de 11km/s, voire au-delà.

[9] La raison réelle pour laquelle le cerf-volant n'atteindra jamais l'espace est l'absence d'air porteur dans l'espace, pas la vitesse.

[10] Même si on l'utilise de façon très poussée mais seulement **une fois l'engin lancé**.

[11] Le seul moment en spatial où on utilise couramment le concept de balistique est celui de la rentrée des capsules dans l'atmosphère, donc l'exact inverse du départ

de gouvernail, pas de frottements…), alors seulement vous pourrez considérer que vous l'avez libéré de l'attraction terrestre.

Aucun objet dans l'univers ne peut supporter une accélération infinie entre 0 et 11km/s. Aucun canon n'est capable d'une telle prouesse.

Et c'est pour cela…

… que nos fusées ont des moteurs qui fonctionnent en continu.



… qu'une fusée peut échapper à l'attraction terrestre à la vitesse qu'on veut (y compris celle d'un escargot cacochyme : l'énergie requise sera immense, certes, mais rien ne l'interdit).

… qu'aucun ingénieur ne pensera sérieusement à accélérer sa fusée à 11km/s en se disant : "ouf, on échappe à l'attraction terrestre"

… que la vitesse de libération est une quantité qui n'est intéressante que dans le cadre d'un exercice de seconde.

… qu'il est inepte de continuer à raconter partout que ce 11km/s constitue le Graal absolu pour échapper à l'attraction terrestre.

Sources

Sources trompeuses

Deux exemples de sources dites sérieuses et fiables, et qui pourtant d'une part propagent l'idée fausse de 11 km/s est la vitesse minimale pour échapper à l'attraction terrestre, et d'autre part appliquent ce principe aux fusées alors que c'est justement le champ auquel ce principe ne s'applique pas :

Comment fonctionnent les fusées (Futura Science): *« Les fusées doivent absolument être capables de dépasser 40 000 km/h », « Toutes ces manœuvres ont un but : atteindre la vitesse de libération, c'est-à-dire la vitesse minimale que doit atteindre un projectile pour s'échapper définitivement de l'attraction gravitationnelle de la Terre, soit environ 11 km/s ou 40 000 km/h. »* **[FAUX]**

Pourquoi les fusées ont-elles plusieurs étage (Espace Sciences) : *« pour échapper totalement à l'attraction terrestre, il faut aller au-delà des 40 000 km/h »* **[FAUX]**

Source amusante et ludique

Calculer la vitesse de libération d'un corps. Note : Cette page donne une information parfaitement exacte à ce sujet : *« La vitesse de libération est la vitesse nécessaire pour quitter définitivement l'attraction gravitationnelle d'une planète, d'une lune ou d'une étoile **sans propulsion supplémentaire** »* **[VRAI]**



Fun fact : J'ai personnellement utilisé le calculateur : si une sauterelle se tient sur moi dans l'espace, il suffit qu'elle saute à la vitesse initiale prodigieuse de 0,12 millimètres par seconde (43 centimètres par heure) pour quitter ma modeste attraction gravitationnelle ! Sachant qu'une sauterelle s'élance à plus de 3 mètres par seconde (soit 25 000 fois la vitesse nécessaire), au moindre saut, elle sera perdue dans l'espace !
*À titre de comparaison, 25 000 fois la vitesse de libération correspondrait sur terre à un projectile qui partirait d'un canon à la vitesse de 280 000 km/**s**, soit quasiment la vitesse de la lumière ! Le projectile à plus grande vitesse estimée dans l'histoire est une plaque d'acier (Pascal-B) d'environ 1 tonne projetée à 240 000 km/**h** (des milliers de fois plus lent que la vitesse de la lumière) par une [explosion nucléaire](#).*

$$p = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{c}{v} \propto \frac{1}{v} \quad E = \frac{F}{A} \quad 2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv} \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \quad p = mc = \frac{E}{c} \quad E = \frac{hf}{e} = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{1240}{\lambda(nm)} \quad m = \rho\frac{4}{3}\pi r^3 \quad q = ne \quad \frac{f}{a} = \frac{F}{A} \quad p = \rho g h$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mc} \quad I = \frac{nhf}{tA} \quad E = hf = \frac{hc}{\lambda} = mc^2 \quad E_K = \frac{1}{2}mv^2 = qV \quad R = \frac{mv}{qB} \quad V = \frac{E}{B} = \frac{V}{dB} \quad \frac{q}{m} = \frac{E}{RB^2} = \frac{V}{dRB^2} \quad \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{KQq}{r} \quad W = F \cdot S\cos\theta \quad P = \frac{F}{A}$$

Pour aller plus loin

Ici sont développés quelques éléments pour les plus curieux.

Temps de lecture : approx. 8 minutes

Un projectile n'est pas une fusée



Un objet qui part avec une **vitesse initiale de 11km/s** n'a pas besoin de moteurs. C'est un **projectile**. C'est le principe du canon de Jules Verne (la Columbiade) qui expédie un obus dans lequel Barbicane et ses compagnons vont sur la Lune[12].

Une fusée, à l'inverse, part de la Terre avec une **vitesse initiale nulle** sur son pas de tir. Ce sont ses moteurs qui l'amènent progressivement en altitude. C'est un **véhicule**.

Un projectile ne sert pas pour la conquête spatiale

Stricto sensu, partir avec une vitesse initiale de 11 km/s exige une accélération infinie et est donc impossible. Atteindre presque instantanément 11 km/s est peut-être possible avec un canon ultra-puissant (qu'on n'a pas encore inventé), mais suppose une accélération de plusieurs milliers de g, soit plusieurs centaines de fois la limite tolérable pour un être humain, et sans doute plusieurs dizaines de fois celle tolérable pour une charge utile.

C'est pour cela qu'on utilise des fusées plutôt que des obus dans des canons. L'énergie totale nécessaire est plus importante, mais les contraintes humaines et mécaniques font qu'il est impossible de provoquer les accélérations d'un canon pour aller dans l'espace.

---

[12] Jules Verne avait calculé une vitesse de libération remarquablement exacte de 12 000 yards par seconde, soit 10,97km/s

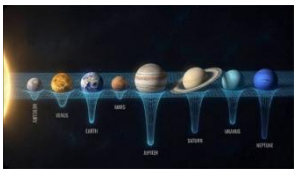
La vitesse d'arrivée est plus importante que la vitesse de départ.

La dynamique du départ d'une fusée n'a qu'un seul objectif : constituer le meilleur compromis entre l'efficacité énergétique, la résistance des matériaux à l'accélération et la limite humaine aux contraintes du décollage.

La vraie valeur, celle visée, est celle d'arrivée : pour une orbite basse, par exemple, la vitesse que le véhicule doit atteindre est d'environ 8 km/s (~28 000 km/h). La dynamique du voyage depuis le départ est donc calculée par rapport à cette vitesse visée.

Comparaison des astres : l'intensité de la gravité suffit

L'élément principal dans lequel on ***pourrait*** imaginer utiliser la vitesse de libération serait pour comparer la gravité des planètes entre elles : de 11 km/s sur Terre, elle n'est que de 4,3km/s sur Mercure, et presque 60km/s sur Jupiter.



Là encore on peut s'épargner l'utilisation de cette valeur : Dire que *« **L'intensité de la gravité** sur la Lune est 6 fois moindre que sur Terre »* est tout aussi signifiant que de dire que *« **La vitesse de libération** sur la Lune est 4,7 fois moindre que celle sur la Terre »*.

Réversibilité en physique

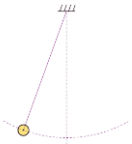


Nous avons abordé le fait que beaucoup de phénomènes physiques sont réversibles dans leur déroulement. Voici une explication de ce point.

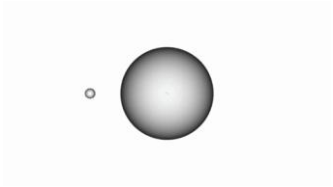
Le principe est simple : la plupart des phénomènes observables peuvent être lus à l'envers sans que l'expérience paraisse « bizarre ». Et ceux pour lesquels ce n'est pas le cas sont liés au fait qu'on observe, de loin, un très grand nombre de phénomènes microscopiques individuels

Pendule

Filmez un pendule en mouvement : il oscille de la droite vers la gauche puis de la gauche vers la droite. Si vous passez le film à l'envers, le pendule oscillera de la gauche vers la droite puis de la droite vers la gauche. Mais si vous montrez les 2 versions à une personne, elle n'aura aucun moyen de savoir quel film remonte le temps et quel film suit le temps.



Chute ou lancer ?



Filmez une balle qui tombe verticalement, et coupez le départ et l'arrivée. Passez le film tronqué à l'envers : il n'existe aucun moyen de savoir si vous êtes en train de regarder une balle qui tombe et qui accélère lors de sa chute, ou si vous êtes en train de regarder une balle qu'on a lancée vers le haut et qui ralentit au fil de son ascension.

Toujours vrai ?

Ce qu'on vient de voir est vrai lorsque le nombre d'objets observés est adapté à l'**échelle d'observation** : Lorsqu'il y a trop d'objets indiscernables, alors, pour l'observateur, la physique cesse d'être **déterministe** pour devenir **statistique**.

Café au lait dans un verre cassé



Si vous mélangez du café et du lait, ou si vous cassez un verre, vous n'aurez aucun mal à savoir quel film est à l'endroit et lequel est à l'envers. La différence ici est que la balle ou le pendule est un seul objet compact. La modélisation est « simple et réversible ». À l'inverse, il y a des milliards de milliards de molécules de café, d'eau et de lait dans la tasse, ou de particules de verre. Chacune d'elle, prise individuellement, se comporte de façon réversible. Mais le fait de les observer au global, toutes en même temps, et « de loin » (on regarde la tasse ou le verre, pas chaque molécule de café ou de verre) alors que chacune « vit sa vie » de façon indépendante produit une sorte de « réalité globale moyenne », dans laquelle la version la plus *crédible* est celle qui est observée[13]. Il y a donc une version *"crédible"*, où les molécules se mélangent de façon homogène, et une autre, *"non crédible"*, où les molécules s'arrangent spontanément pour former un verre à partir d'éclats, ou un pot de café et un de lait à partir d'une tasse de café au lait.



Voilà pourquoi la chute d'un seul objet se rejoue à l'envers, alors qu'un verre cassé ne se reforme pas.

[13] Même si c'est "théoriquement possible", il y est bieeeeen plus probable de gagner un million de fois de suite le gros lot de l'Euromillion que d'observer **une seule fois**, dans **toute l'existence de l'univers**, un verre cassé se reformer, ou bien un café au lait se scinder en café ET en lait, ou de voir un œuf cassé se remettre gentiment dans sa coquille.