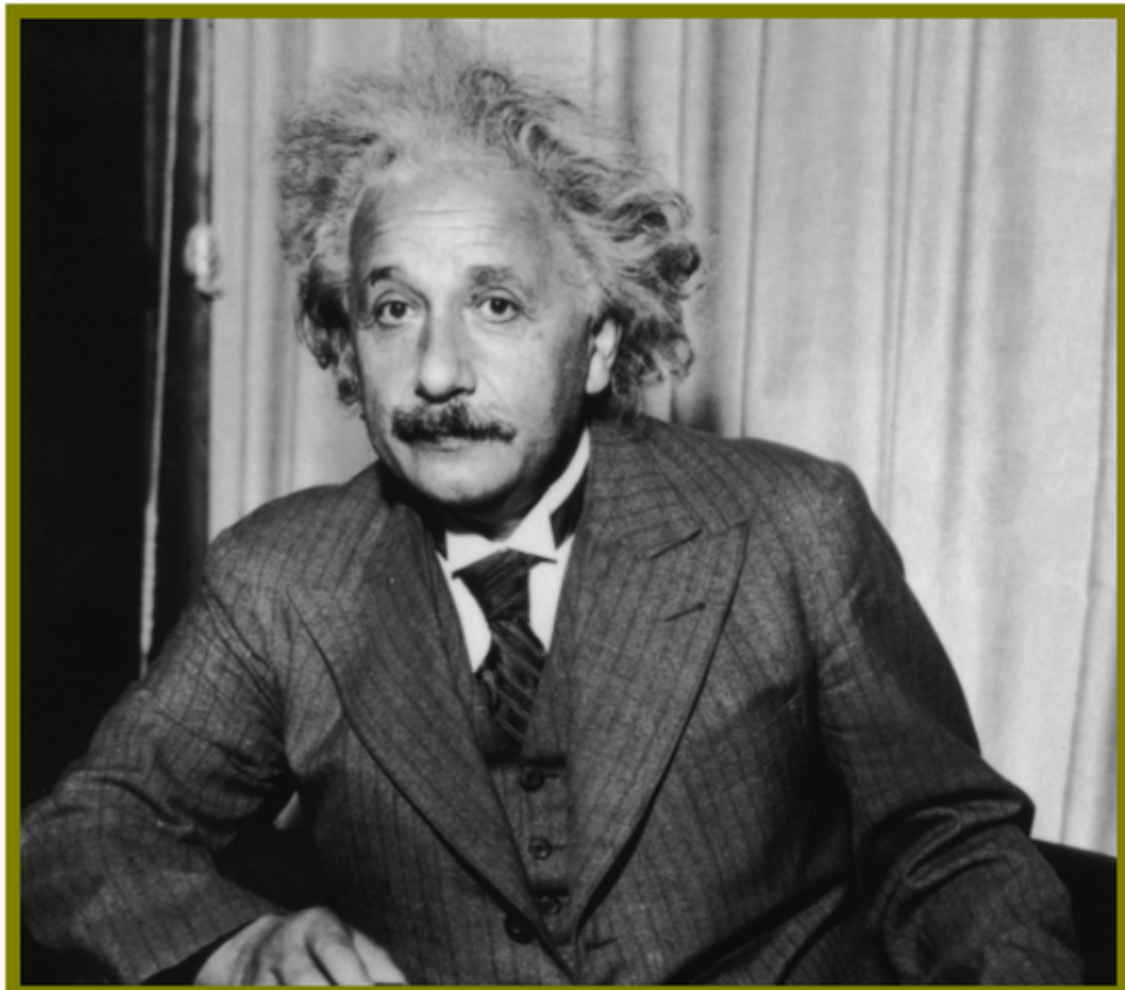


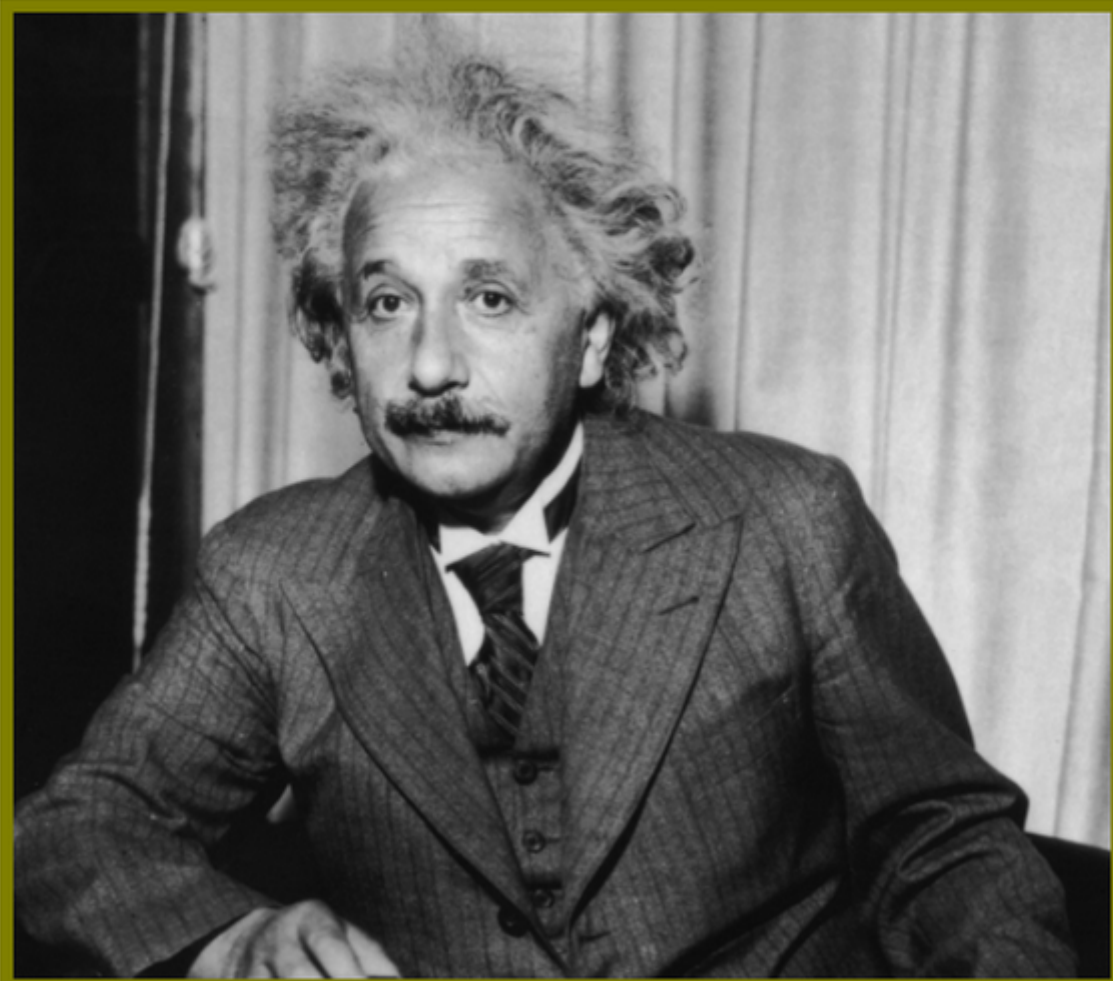
# La Relativité Générale d'Albert Einstein, et oui... (partie 2)

écrit par Professeur Tetenlair | 1 décembre 2021

*Albert Einstein*



## Albert Einstein



### PARTIE 2

Pour relire (ou lire) la première partie de notre exposé, [c'est ici](#).

### PRESENTATION

La théorie de la relativité générale explique quasiment tout ce qui se passe à grande échelle : mouvement des [planètes](#), ondes gravitationnelles, [trous noirs](#), [Big bang](#)... et tant d'autres. Cette théorie est l'une des plus fascinantes de la science moderne car, en modifiant les points de vue classiques sur des mécanismes que l'on croyait connaître, elle a dévoilé la véritable nature de l'espace qui nous entoure.

L'un des principes les plus importants de la théorie, c'est d'avoir reconsidéré la gravité en comprenant qu'elle n'est pas une force en elle-même, ce que pourtant nous avons tous appris. Dans la théorie de la relativité générale en effet, la gravité est remplacée par la courbure de l'espace-temps : la théorie démontre que les corps massifs courbent l'espace-temps, le « tordent », et que les trajectoires des objets qui passent à côté sont modifiées à cause de cette courbure. Ne t'arrache pas le seul cheveux qui te reste, on va voir tout ça calmement et simplement.

Mais qu'est-ce que cette courbure ? Quand on dit que l'espace est courbe, qu'est-ce que ça veut vraiment dire, concrètement ? **Ben, ça veut dire que dans l'espace, la ligne droite parfaite n'existe tout simplement pas. Tout est courbures.** Te fais pas de soucis, ma chérie, on va expliquer tout ça.

Autre base de la compréhension de la relativité générale, c'est qu'il n'existe aucun point fixe absolu. Il n'existe que la notion de référentiels. Un référentiel, c'est un objet ou un ensemble d'objets dont on connaît la position et la trajectoire, et que l'on peut mesurer (sa vitesse, où il sera et à quel autre moment...).

Nous, sur Terre, nous mesurons les vitesses et les trajectoires par rapport à notre planète, comme si elle était un point fixe. Mais en réalité, tout ce que nous observons se comporte de manière relative par rapport à autre chose.

Prenons un exemple simple dont tu as probablement déjà fait l'expérience : tu es dans un train à l'arrêt en gare. A côté de toi, sur le quai juste à côté, il y a un autre train, et tu ne vois que lui : tu n'as pas d'autre repère. Et tout à coup, tu vois un mouvement : l'un des deux trains s'est mis très lentement en mouvement et se met à avancer. Mais est-ce le tiens qui démarre, ou celui d'à côté ? En l'absence d'autre référentiel que le train que tu vois, tu es incapable (l'espace de quelque instant, bien sûr) de savoir qui bouge

par rapport à qui.

C'est ça, la relativité mon oncle : il n'existe pas de point fixe absolu. Tous les objets se meuvent relativement aux autres. On ne peut pas affirmer que l'un est fixe et que les autres bougent par rapport à lui, ni l'inverse. Tous se meuvent relativement à tous les autres et, en plus comme on va le voir, cela les soumet à des forces extérieures qui ont une influence sur leur vitesse et leur trajectoire.

Bon, voilà déjà des choses nouvelles et passionnantes, tu trouves pas ?

Une fois qu'on a bien compris le principe de relativité, on réalise que dire par exemple qu'un objet se déplace à 100 km/h revient à dire que ce sont les autres objets qui se déplacent à 100 km/h par rapport à lui (si l'on considère arbitrairement qu'il est fixe).

Il y a eu, en fait, trois théories de la relativité :

- la Relativité Galiléenne issue des idées de [Galilée](#) et [Newton](#) au XVIIe siècle
- la Relativité Restreinte de 1905 présentée dix ans avant la Relativité Générale par Albert Einstein (enfin...presque, on verra ça à la fin de cette série), et qu'on pourrait qualifier d'amélioration de la relativité galiléenne
- la Relativité Générale de 1916 : principalement due à Albert Einstein. En réalité, c'est la troisième théorie de la relativité

Pour comprendre la théorie de la Relativité Générale, il faut comprendre les notions sur lesquelles elle s'appuie. Et après, tout roule, ma poule ! Comme notion, il y a :

- la notion de gravité (ou gravitation)
- le principe d'équivalence
- le principe de référentiel

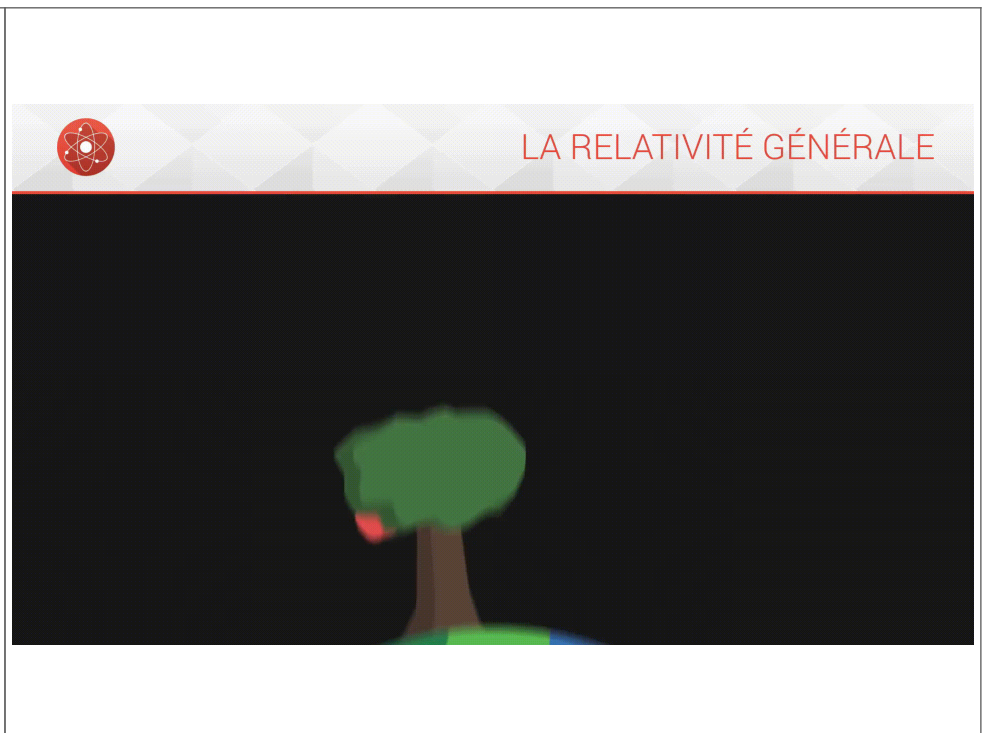
- le principe d'inertie
- la notion d'inexistence de ligne droite parfaite en présence de masse
- la notion d'espace-temps c'est-à-dire l'indissociabilité de l'espace et du temps
- le ralentissement du temps

Allez, au boulot !

## NOTION DE GRAVITÉ (OU GRAVITATION)

Nous allons commencer par quelques notions sur la [gravitation](#) ou [gravité](#).

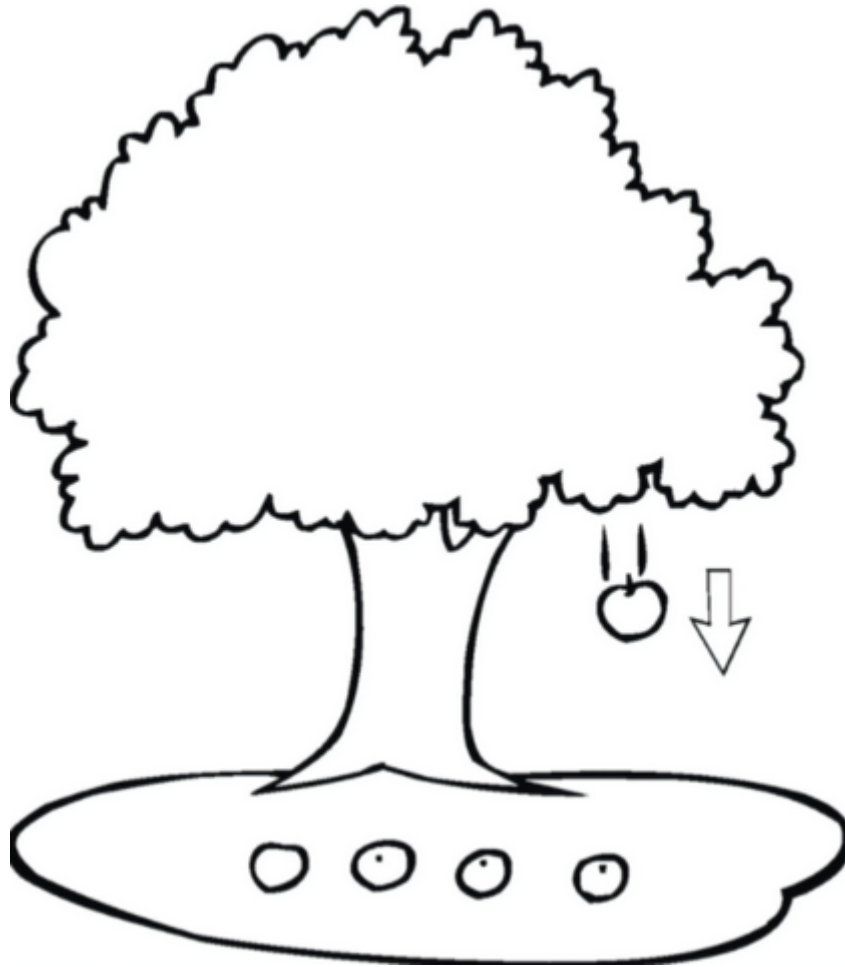
C'est un phénomène fondamental dans l'univers car c'est ce qui attire les objets entre eux. Si la pomme tombe au sol, que la lune tourne autour de la Terre, et que la Terre tourne autour du soleil, c'est à cause de la [gravité](#) qui lie ces objets entre eux les empêchant de s'éloigner les uns des autres.



À première vue, on pourrait penser que la gravitation est une force qui agit en attirant les objets en fonction de leur masse. Plus un corps serait massif, plus il attirerait les objets de l'univers dans sa direction. Cette représentation de la [gravité](#) comme une force permet de comprendre le comportement des objets lorsqu'il tombe ou encore la façon dont les planètes orbite autour du soleil.

En résumé, on pourrait dire qu'en physique classique (celle de [Newton](#)), la gravitation est modélisée par une force : la force de gravitation. Cette force s'exerce entre tous les objets possédant une masse, et de façon attractive. Pour le dire simplement, si une pomme tombe sur Terre, c'est qu'il

existe une force qui attire la pomme vers la Terre (et la Terre vers la pomme, mais comme la Terre est plus lourde que la pomme, c'est plutôt la pomme qui va vers la Terre, (à condition que tu n'ai pas mangé la pomme avant de la faire tomber...)).



La théorie de [Newton](#) sur la gravitation expliquait correctement tout ce qu'on observait à l'époque : les [planètes](#), les pommes qui tombent, les boulets de canon envoyés par les anglais (Newton était anglais) sur les français... Et comme sa théorie fonctionnait bien, elle était largement acceptée.

Mais voilà, mon frère ! Dès la moitié du XIXe siècle les travaux sur l'[électromagnétisme](#) commencent à produire des résultats qui ne sont plus en accord avec la physique classique : l'expérience de [Michelson-Morley](#), par exemple, met en échec la relativité de [Galilée](#). C'est Einstein, sur la base

des travaux de [Maxwell](#), [Lorentz](#) et d'autres qui proposera la relativité restreinte pour expliquer les résultats de l'expérience de [Michelson-Morley](#) : il remet en cause le caractère absolu de l'espace et du temps : ces deux composantes de l'espace-temps varient désormais avec le référentiel où l'on se trouve.

Einstein n'était cependant pas satisfait de la relativité restreinte : elle n'expliquait pas tout (notamment en ce qui concerne la [gravité](#)). Il se mit alors au travail et après plus de 10 ans de travaux, il mit au point la relativité générale, qui expliquait beaucoup plus de choses.

Pour sa nouvelle théorie, Einstein a dû changer la définition de la gravitation : il rejette la notion de force de gravitation introduite par [Newton](#) et la décrit alors comme rien d'autre que l'effet de la distorsion de l'espace-temps par la présence d'énergie (ou de masse, qui en est une forme).

C'est la simple présence de masse qui déforme l'espace-temps, et modifie la trajectoire des objets.

**Donc, en réalité, la gravitation n'est pas vraiment une force. Et cette notion est extrêmement importante.**

Par exemple, si on observe un satellite en train de tomber sur Terre, si la [gravité](#) était une force il devrait tomber tout droit vers le centre de la [planète](#). **Mais quand on fait l'expérience, on s'aperçoit que sa trajectoire est légèrement déviée sur le côté dans le sens de rotation de la Terre.**

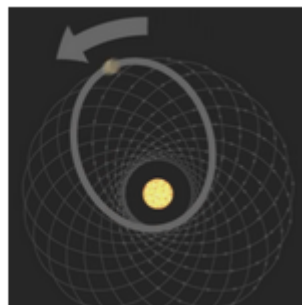
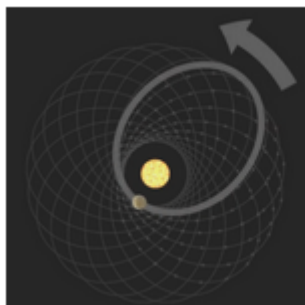
La petite animation ci-dessous te résume cela en 17 secondes. Mets le son de ton ordi, car le schéma est accompagné d'un commentaire.

<https://resistancerepublicaine.com/wp-content/uploads/2021/12/relativite-generale-gif-02.mp4>

L'orbite de Mercure également change d'orientation et de



vitesse au cours du temps. Si la gravité était une force, on pourrait prédire avec exactitude la vitesse à laquelle devrait évoluer cette orbite. **Mais dans les faits, on observe que l'orbite de Mercure varie au cours du temps avec une vitesse légèrement différente.**



Avec tout cela, on s'aperçoit finalement que la nature de la gravitation est tout autre qu'une simple force. Pour cerner tout cela, il faut revoir l'ensemble de la vision du monde et de l'univers, ainsi que de l'espace et du temps. C'est ce qu'on appelle la relativité générale. C'est ce qu'a fait Albert Einstein.

Tout va bien jusque-là, ma cousine ? Oui ? Alors, je continue.

### LE PRINCIPE D'EQUIVALENCE

Alors, pour exister, la théorie de la relativité se base en grande partie sur ce que Einstein a appelé "le principe d'équivalence". Il existe trois principes d'équivalence :

- le premier est le constat de l'égalité entre la masse inerte (la masse intrinsèque de l'objet) et la masse qu'il présente à la gravitation.
- le deuxième, Albert Einstein le présente comme une "interprétation" du premier, en termes d'équivalence locale entre la gravitation et une accélération (par une expérience locale, elles sont indistinguables) et est un élément clé de la construction de la relativité générale.



- le troisième est une extension du second et est également vérifié par la relativité générale

On va s'intéresser au principe d'équivalence faible, celui utilisé par Einstein pour la théorie de la relativité. Et on explique tout ça. D'acc ?

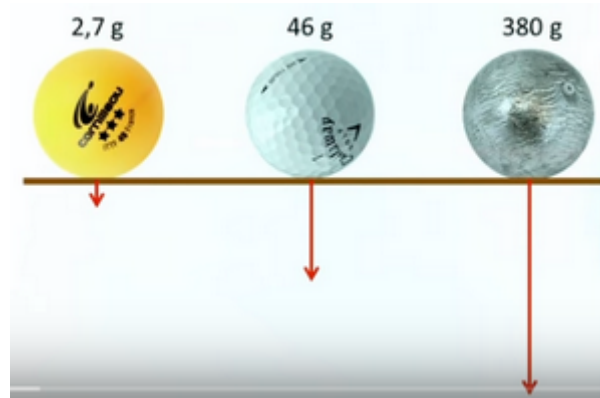
Pour comprendre ce principe d'équivalence, il faut avoir dans l'esprit la notion de masse. C'est un argument essentiel de la relativité générale.

Il existe la "masse inerte" et la "masse pesante". C'est [Newton](#) qui a trouvé ça.

- la masse pesante c'est ce que l'on ressent par la [gravité](#), c'est ce qui attire un corps vers le bas. C'est aussi ton propre poids ou le mien, qui sont attirés vers le sol.
- la masse inerte c'est la capacité d'un corps de rester là où il est. Explications. Si tu veux déplacer une boule qui pèse 1 kg tu pourras le faire facilement. Sa masse inerte (1 kg) n'est pas importante et tu peux déplacer la boule facilement. Si la boule pèse 100 kg tu auras beaucoup de mal à la déplacer. Sa masse inerte de 100 kg fait qu'elle aura tendance à rester là où elle est, plus ou moins, en fonction de ce que tu pourras la faire déplacer.

[Newton](#) disait donc que ces deux masses sont très différentes et il ne faut pas les confondre. Comme Newton ne pouvait pas démontrer que ces deux masses étaient différentes, il conclut à l'égalité mathématique de ces masses. C'est, ce que l'on appelle aujourd'hui, le principe d'équivalence.

Faisons une petite expérience. Prenons 3 boules pesant chacune respectivement 2,7 g, 46 g, et 380 g et mettons les sur un support.



Quand je vais retirer le support, et contrairement à ce que tu crois, les 3 boules descendront à la même vitesse.

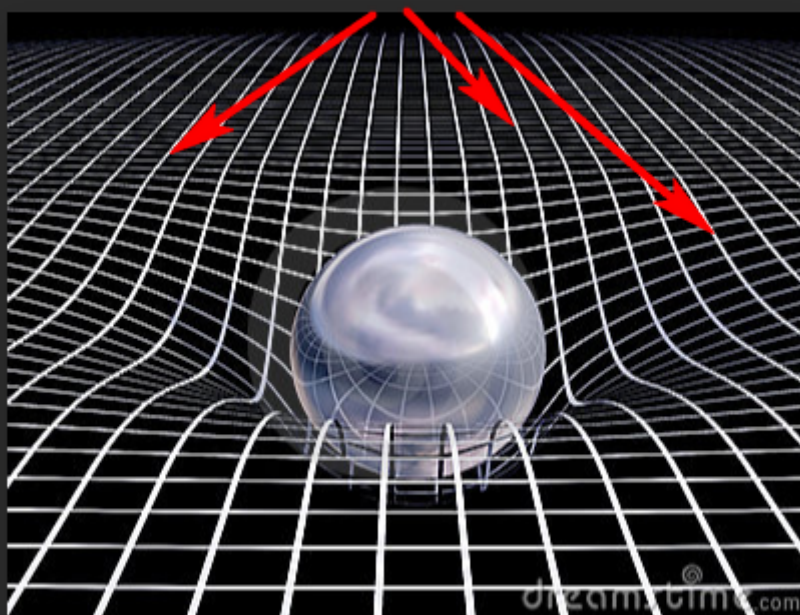
**Fait l'expérience suivante chez toi : prends une fourchette et un grain de riz. Mets-les à la même hauteur (50 cm par exemple) et lâche les en même temps (attention que le grain de riz ne colle pas à tes doigts !). Les deux éléments arriveront au même moment au sol.**

Donc, tous les corps tombent à la même vitesse. Ce phénomène a été observé depuis très longtemps, le premier à en donner les explications est Albert Einstein par la relativité générale qui peut être qualifiée de "théorie de la gravitation".

En fait, l'espace n'est pas vide comme on le croit mais rempli, et il se présente un peu comme une toile de trampoline dans laquelle se trouve tous les corps célestes, et que Einstein a appelé la "courbure d'espace-temps". Cette toile de trampoline est constituée de mails qui bougent sous la présence d'une masse et que l'on appelle les ondes gravitationnelles.



Mails de la toile de trampoline appelées  
ondes gravitationnelles



On peut avoir à partir de cette théorie une idée de ce qu'est la gravitation. La rotation de la Lune autour de la Terre ne relève donc pas d'une attirance des deux corps célestes l'un vers l'autre, mais correspond à un déplacement circulaire de la Lune autour de la Terre au bord du trou provoqué par la Terre dans les ondes gravitationnelles, dans l'espace-temps.



Voilà, on avance bien ma nièce. On va s'arrêter là, il faut que tu digères. La semaine prochaine, on attaquera les bases de la théorie de la relativité.

Fais de beaux rêves !!

**Professeur Têtenlair**