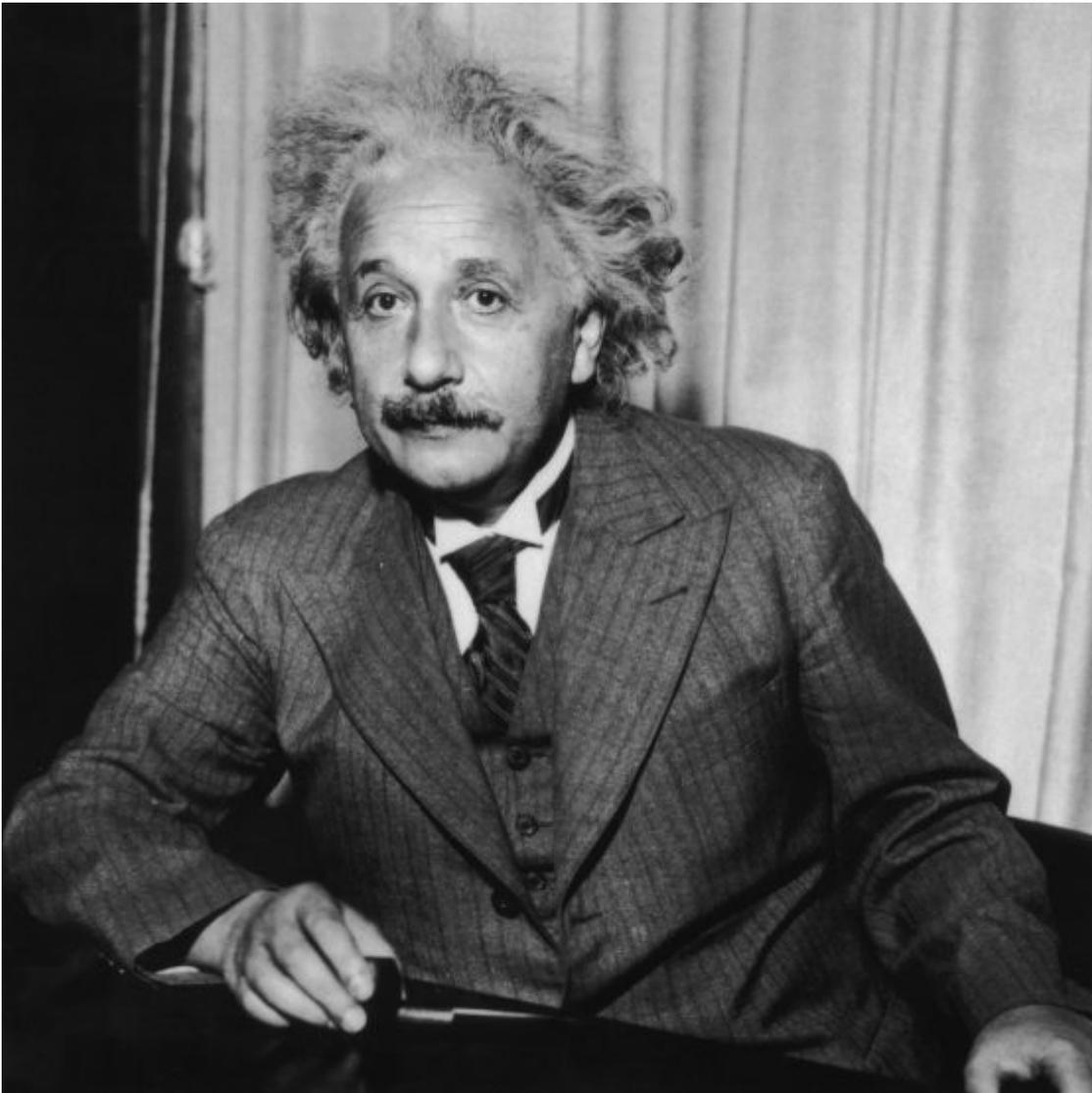
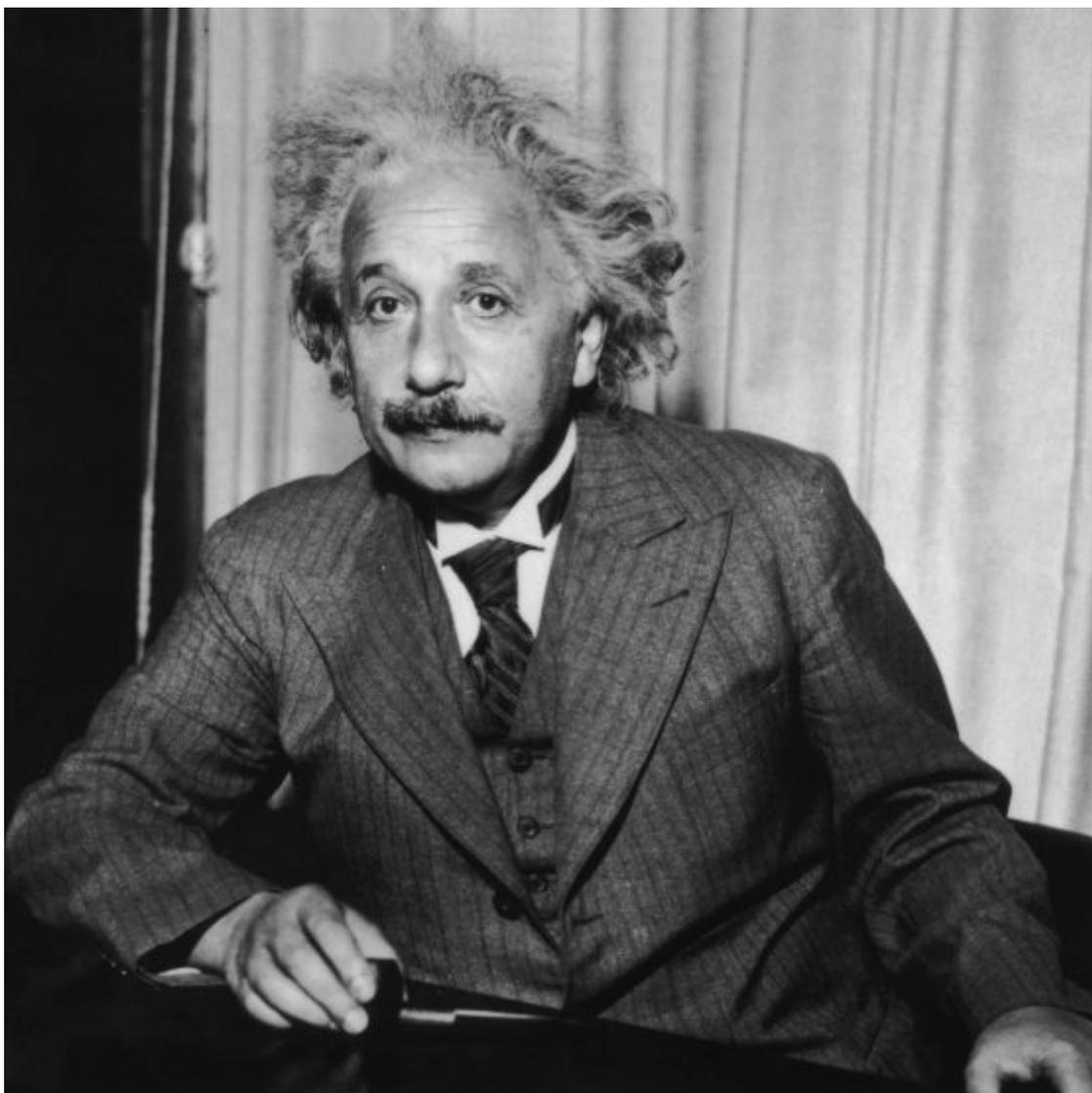


# La Relativité Générale d'Albert Einstein, et oui... (partie 3)

écrit par Professeur Tetenlair | 8 décembre 2021





### **PARTIE 3**

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

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

### **LE PRINCIPE D'INERTIE ET RÉFÉRENTIEL**

L'idée centrale de la relativité est que l'on ne peut pas parler de quantités telles que la vitesse ou l'accélération sans avoir auparavant choisi un cadre de référence, un référentiel. Tout mouvement, tout événement est alors décrit

relativement à ce référentiel de l'observateur.

Tu dois savoir, avant de faire fumer ta cervelle, ce que signifie ceci :

- **Qu'est-ce qu'un référentiel ?**

En physique, il est impossible de définir une position ou un mouvement par rapport à l'espace "vide". Un référentiel est un solide (un ensemble de points fixes entre eux), on va dire plus simplement un "environnement", par rapport auquel on repère une position ou un mouvement. Un dispositif servant d'horloge est également nécessaire pour pouvoir qualifier le mouvement et définir la notion de vitesse. Un exemple classique de référentiel est le référentiel terrestre qui est lié à la Terre.

Donc, un référentiel, pour parler tranquillos, c'est un contexte et du temps

- **Qu'est-ce qu'un référentiel "galiléen" (en hommage à Galilée), appelé aussi inertiel ?**

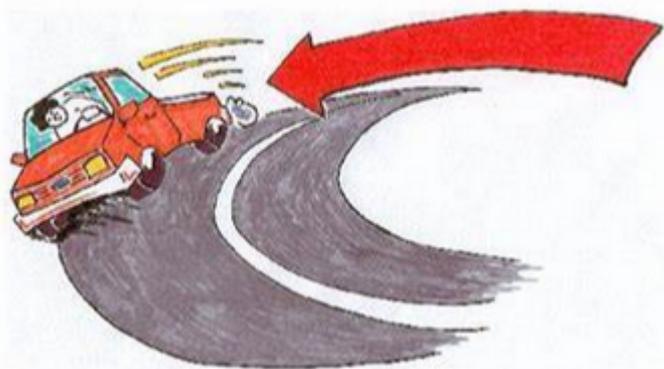
En physique, un référentiel "galiléen" (en hommage à Galilée), appelé aussi "inertiel", se définit comme un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié, c'est-à-dire que tout corps ponctuel libre (= sur lequel ne s'exerce aucune force ou sur lequel la résultante des forces est nulle) est en mouvement de translation (déplacement) rectiligne uniforme, ou au repos (qui est un cas particulier de mouvement rectiligne uniforme). Par suite, la vitesse du corps est constante (au cours du temps) en direction et en norme.

Dans un référentiel non inertiel, qui donc est animé d'un mouvement accéléré par rapport à un référentiel galiléen, il faut faire intervenir les forces d'inertie (accélération, mouvement).

La relativité restreinte postule que ce référentiel doit être

de référentiel galiléen, dit inertiel (= tout corps qui conserve sa vitesse sans possibilité de modifier son mouvement en l'absence d'influence extérieure, et qui dure dans une droite rectiligne uniforme) et peut être étendu indéfiniment dans l'espace et dans le temps.

Dans le but de ne privilégier aucun type de référentiels en particulier dans l'écriture des lois de la nature (principe de covariance générale), la relativité générale traite en plus les référentiels non inertiels (= l'inverse d'un corps en référentiels inertiels, mon cousin, soit un corps dont le mouvement peut être modifié par une force extérieure), c'est-à-dire dans lesquels un corps libre de toute contrainte ne suit pas un mouvement rectiligne et uniforme. Dès lors, tout système de coordonnées est a priori admissible et, généralement, ses limites se révèlent à l'usage.



En physique classique, un exemple de référentiel non inertiel est celui d'un véhicule qui nous transporte et qui suit un virage : la force centrifuge que l'on ressent contrarie le mouvement inertiel des corps par rapport au véhicule.

En relativité générale, il est admis que l'on ne peut définir un référentiel que localement et sur une période finie.

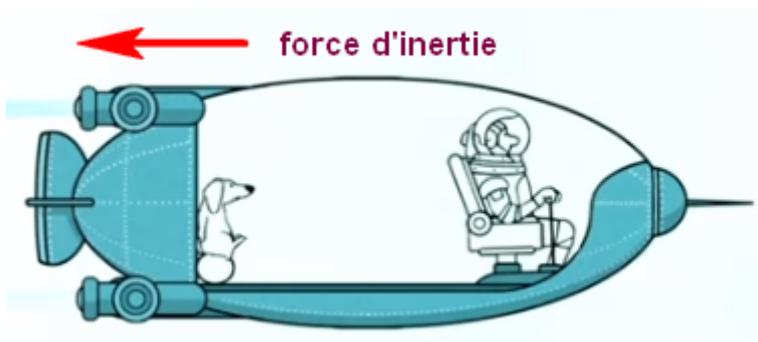
**Autre exemple du phénomène d'inertie** : Tu es dans une voiture conduite par un beau mec qui roule, et s'il voit le feu rouge au dernier moment, il freine comme un malade. Tu es projetée vers l'avant. Si la voiture de ton copain est une Porsche et

qu'il veut t'impressionner pour te draguer, au feu vert, il va démarrer comme une bête, et tu seras projetée en arrière, collée au dossier de ton siège. C'est ça la force d'inertie. Ce sont des forces nouvelles associées à une vitesse nouvelle dans le référentiel.

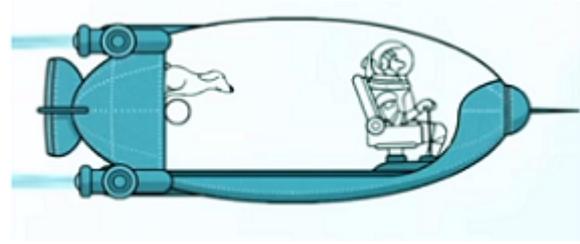
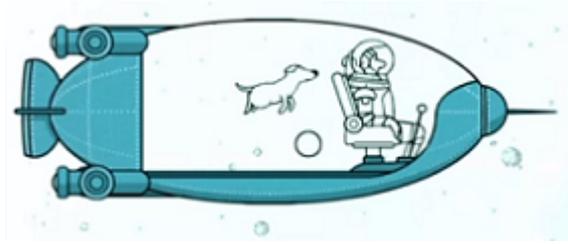


Autre exemple de la force d'inertie. Imagine un astronaute dans une fusée assis sur son siège avec derrière lui son petit chien jouant à la balle, comme toi quand tu étais petit.

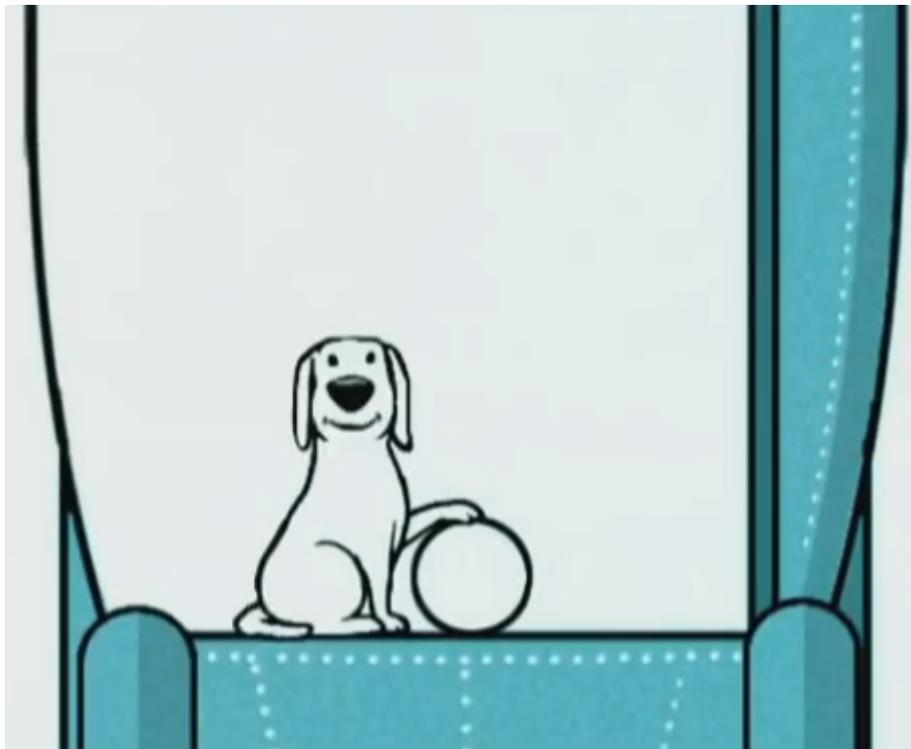
Pour changer de vitesse il faut donc subir une force. Notre pauvre petit chien n'est pas attaché contrairement à son maître dans son fauteuil.



Que tu fasses ces expériences sur la Terre ou dans l'espace, le résultat est le même, cela n'a rien à voir avec la présence de la Terre. Si on se trouve dans une fusée dans l'espace, en état d'apesanteur, avec le petit chien le résultat est le même.



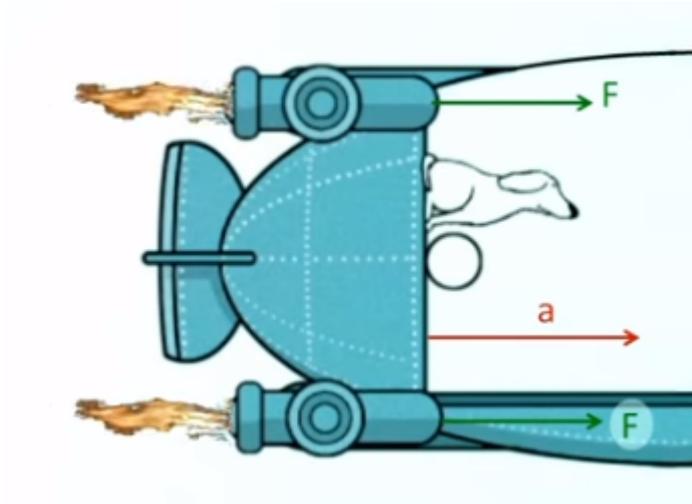
Einstein a donc établi dans sa théorie que la force d'inertie ressentie par le petit chien est une force de même nature que la force de gravitation. C'est le principe d'équivalence comme déjà cité plus haut. La force subie par le chien au moment de l'accélération, cette force d'inertie, est de même nature que s'il était resté au sol.



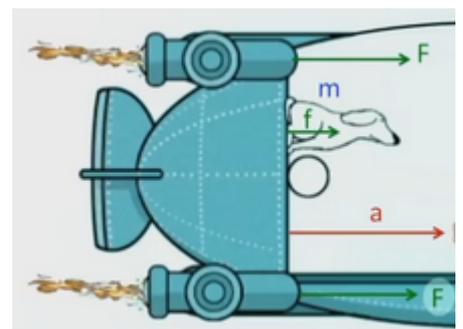
## Il y a équivalence entre force gravitationnelle et force d'inertie

C'est sur ce postulat qu'Einstein a bâti sa théorie de la relativité générale.

Reprenons avec quelques précisions supplémentaires :

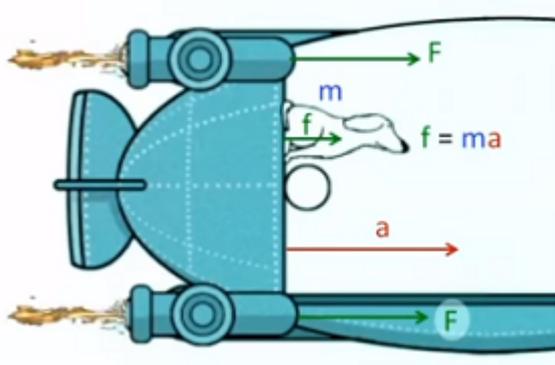


Le vaisseau subit une force  $F$  due à l'accélération  $a$ .

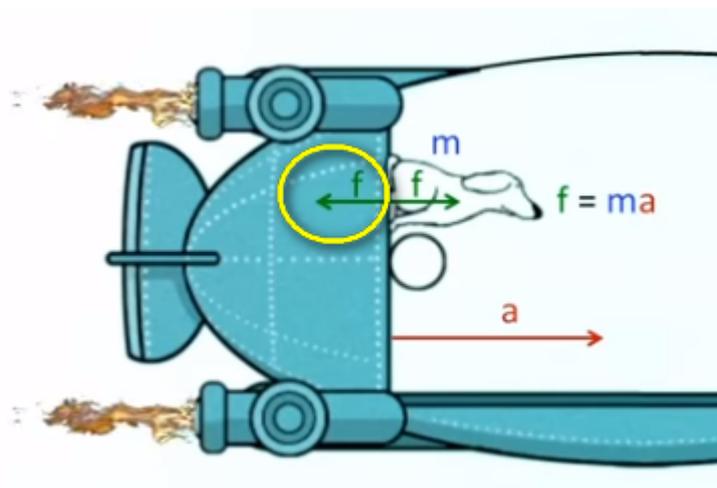


Le chien possède sa masse,  $m$ , et donc il subit aussi une force appelée  $f$ . Cette force est celle des moteurs de la fusée qui emporte toute la masse  $y$  compris celle du petit chien.

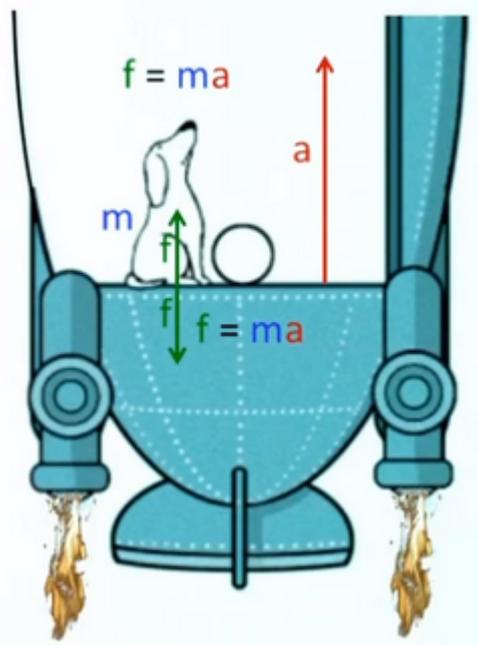
Cette force  $f$  permet à la masse  $M$  du petit chien d'avancer avec une accélération  $a$ . C'est l'équation de la seconde loi de [Newton](#)



$$F = ma$$



Cette force  $f$  se retrouve systématiquement dans sa version opposée (troisième loi de [Newton](#)), c'est la force que l'on ressent et qui donne l'impression d'être écrasé.



En faisant pivoter l'image de  $90^\circ$ , on met le chien dans la position de la gravitation, conformément au principe d'équivalence. On appelle cette force le poids apparent du chien.

### **Autre explication (exemple) :**

Par ailleurs, Einstein a montré une autre chose. Il a montré que les effets ressentis lorsqu'on est situé dans un champ de gravité sont identiques à ce que l'on ressentirait si on était dans un référentiel en accélération.

Si tu te trouves dans un ascenseur qui monte, au moment où il démarre, tu as l'impression que ton poids augmente, que tu es

comme écrasé sur tes jambes ? Ce ressenti serait le même si tu te trouverais sur une [planète](#) plus massive que la Terre, où la gravité serait plus grande: plus la gravité est forte, plus les câbles de l'ascenseur devront soulever fort, et plus ton poids sera lourd sur tes jambes.

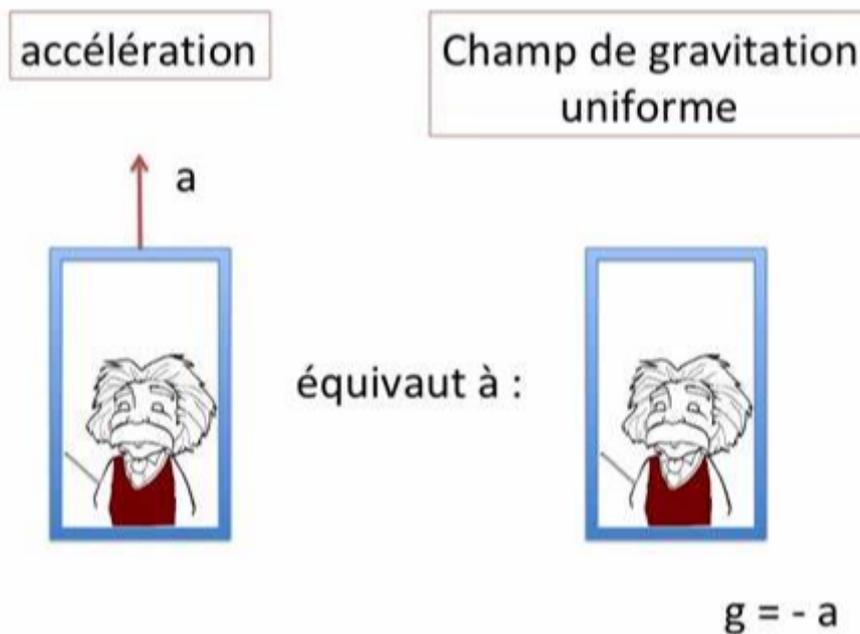
D'ailleurs, si je considère que tu pèses 70 kg (je suis gentil, hein ?). Tu pèserais :

- sur la Lune : 11 kg > Pesanteur de 1,57 N/kg > tu sauterai à 6,25 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Mercure : 27 kg > Pesanteur de 3,72 N/kg > tu sauterai à 2,64 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Vénus : 63 kg > Pesanteur de 8,85 N/kg > tu sauterai à 1,11 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Mars : 27 kg > Pesanteur de 3,72 N/kg tu sauterai à 2,64 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Jupiter : 177 kg > Pesanteur de 24,8 N/kg tu sauterai à 0,4 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Saturne : 75 kg > Pesanteur de 10,5 N/kg tu sauterai à 0,93 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Uranus : 64 kg > Pesanteur de 9 N/kg tu sauterai à 1,09 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Neptune : 78 kg > Pesanteur de 11 N/kg tu sauterai à 0,89 m au lieu de 1m sur Terre
- sur Pluton (qui n'est plus une planète, mais une planète naine) : 6 kg > Pesanteur de 0,8 N/kg tu sauterai à 12,26 m au lieu de 1m sur Terre

Ceci signifie que l'accélération du référentiel où tu te trouves est un phénomène équivalent à la gravitation : la gravitation produit donc une accélération des objets (accélération de la pesanteur). C'est donc ce que Einstein a appelé le principe d'équivalence.

On peut aussi voir ça autrement : si tu te trouves près d'un astre massif, tu dois accélérer dans le sens opposé pour compenser la pesanteur engendrée par cet astre : ta vitesse

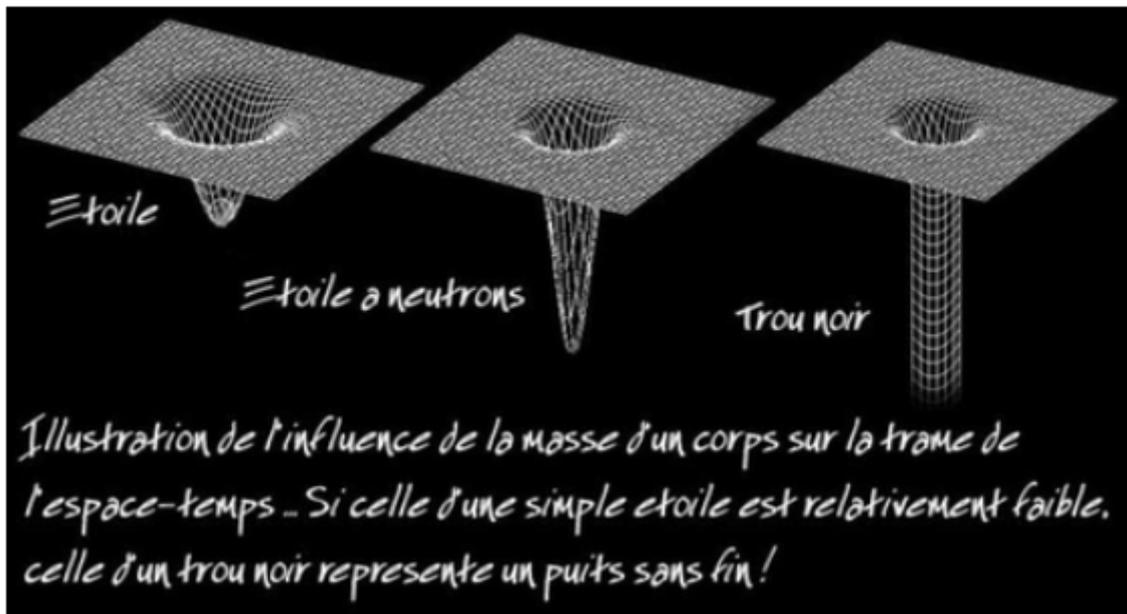
doit augmenter pour ne pas tomber vers lui.



Ainsi, si la masse de l'astre est vraiment importante, alors l'accélération doit être suffisante pour empêcher les objets de tomber vers lui. Si la masse attirante est telle, afin que les objets ne se laissent pas attirer vers cette masse, leur vitesse doit dépasser celle de la lumière ce qui n'est évidemment pas possible. Conclusion : l'astre attire tout vers lui : c'est le principe d'un trou noir.

**Le trou noir est une conséquence de la gravitation en relativité générale : sa masse est telle que la déformation de l'espace-temps est trop importante pour pouvoir en compenser les effets : les lignes de l'espace temps sont alors comme complètement aspirées vers le trou noir.**

La lumière, elle, n'a pas de masse : elle ne fait que se déplacer en ligne droite, dans le sens où elle suit uniquement les lignes de l'espace temps. Si la lumière s'approche d'un trou noir, elle suit les lignes de l'espace temps et est donc elle aussi aspirée dans le trou noir, sans jamais en ressortir. Le trou noir n'émet donc aucune lumière, c'est pour ça qu'il est noir.



Ben...voilà. On va s'arrêter là pour aujourd'hui. Faut digérer ! Mercredi prochain, on continue avec la notion d'espace-temps et suivante.

A + !

**Professeur Têtenlair**