



Aventures CosmoVerse

Gravité et géométrie



En classe

Introduction: la gravité selon Newton



Professeur :

(Mordant dans une pomme) Bonjour, jeunes explorateurs ! Êtes-vous prêts pour une nouvelle aventure CosmoVerse?



Élève 1 :

Toujours ! Quel est le sujet du jour?



Professeur :

Je vais vous donner un indice. Le sujet d'aujourd'hui a été introduit pour la première fois par un scientifique qui a eu une révélation en observant des pommes qui tombaient. L'un d'entre vous peut-il deviner qui était ce scientifique et ce qu'il a découvert?

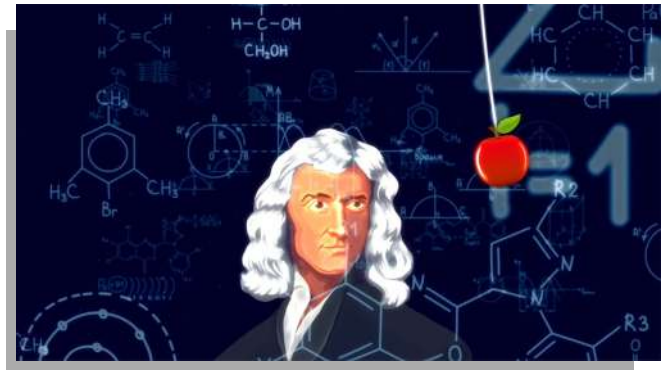


Figure 1: Représentation artistique de Sir Isaac Newton. Source: klonusk.



Élève 2 :

C'était Sir Isaac Newton! Il a découvert la gravité.



Professeur :

Excellent, c'est vrai ! Nous allons parler de la gravité aujourd'hui. Mais avant cela, regardons cette vidéo.

(Le professeur passe la **vidéo** d'une boule de bowling et d'une grande plume qui tombent dans une pièce sous vide)



Professeur :

Avant que cela ne commence, est-ce que l'un d'entre vous peut prédire laquelle tombera en premier ?



Élève 3 :

Il serait logique que la boule de bowling tombe en premier parce qu'elle est plus lourde.



Professeur :

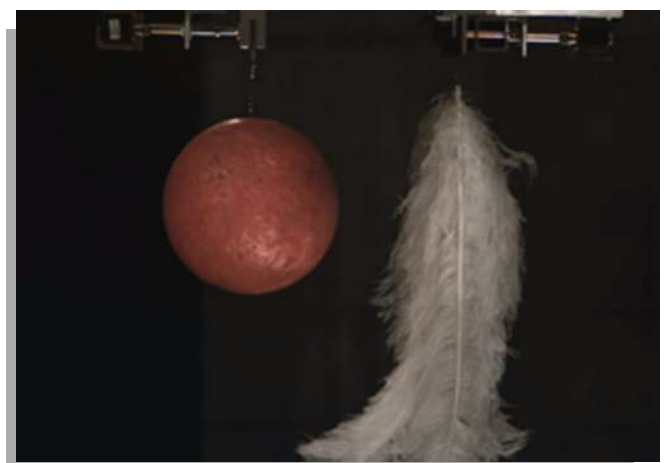
Regardons et observons.

(Les élèves regardent avec étonnement la plume et la boule de bowling tomber en même temps.)



Élève 3 :

Woah, elles sont tombées exactement en même temps!



Vidéo 1: Cet extrait est tiré du documentaire « Human Universe » de la BBC.

Professeur :

C'est exact ! Dans le vide, il n'y a pas de résistance de l'air. Mais la question est de savoir pourquoi la plume et la boule de bowling tombent. Newton dirait qu'il y a une force qui les attire vers le bas, qui est... ?

Élève 2 :

La gravité?

Professeur :

Exactement ! Newton a expliqué que toute masse attire toute autre masse. L'intensité de cette force varie en fonction de la masse des objets et de la distance qui les sépare. Tout se passe comme l'a dit Newton, la terre tourne autour du soleil, la lune tourne autour de la terre et l'univers lui-même fonctionne selon la gravité de Newton. (Voir figure 2).

Élève 3 :

Mais la distance entre le Soleil et la Terre est d'environ 150 millions de kilomètres, y aura-t-il une force pour une telle distance?

Professeur :

C'est une excellente question, et c'est exactement la question que les scientifiques ont commencé à se poser : comment cette force de gravité fonctionne-t-elle sur de grandes distances comme celle qui sépare la Terre du Soleil ? C'est là qu'entre en scène un jeune employé qui travaillait dans un bureau de brevets suisse, Albert Einstein. Il a une vision révolutionnaire de la gravité, inspirée par une simple observation.

Élève 1 :

Est-ce que c'est encore une pomme qui tombe?

Professeur :

(rit doucement) Pas tout à fait. Il observait un homme qui nettoyait les vitres d'un immeuble et se demandait ce qui se passerait si cette personne tombait. Bien que cela puisse nous sembler étrange, Einstein décrit cette pensée comme « la plus heureuse de ma vie ». Cette pensée l'a conduit à l'une des idées les plus révolutionnaires de la physique.

Élève 4 :

Un homme qui tombe ? Ça ne peut que mal finir!

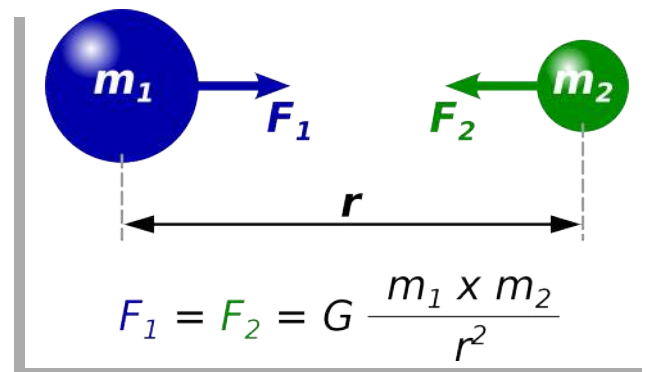


Figure 2: ce diagramme décrit les mécanismes de la loi de la gravitation universelle de Newton. La force est proportionnelle au produit des deux masses et inversement proportionnelle au carré de la distance (r) entre les masses ponctuelles. Source de l'image: Chris H. Hardy.



Figure 3: Théorie de la gravité selon Einstein et théorie de la gravité selon Newton. Source: klonusk.

Professeur :

C'est vrai, mais Einstein a vu les choses différemment. Au lieu de se concentrer sur l'impact, il a imaginé ce que le laveur de vitres vivrait pendant sa chute. Maintenant, mettez-vous à la place de ce laveur de vitres. Que pensez-vous que vous ressentiriez en tombant?

Élève 2 :

La peur ? Et le vent qui vrombit dans mes oreilles ? Et la gravité qui me tire vers le bas, peut-être !

Professeur :

Puisque vous tombez, la gravité est la seule force qui agit sur vous. Pas de sol qui pousse contre vos pieds, pas de chaise qui vous soutienne, vous ne sentiriez pas de poids. Sans résistance au vent, vous seriez en chute libre.

Élève 3 :

Oh, comme la boule de bowling et la plume de la vidéo ! Elles sont toutes les deux en chute libre, non?

Professeur :

Tout à fait ! En chute libre, tout est en apesanteur. Einstein a compris que la sensation de tomber d'un immeuble serait indiscernable de celle de flotter dans l'espace. Mais pour bien comprendre cela, il faut sortir de la salle de classe.

Élève 1 :

Allons-nous vivre une nouvelle aventure avec Quark?

Professeur :

Tout à fait ! Invitons notre ami cosmique, Quark, à nous emmener à bord du vaisseau spatial de l'imagination pour explorer plus avant ce concept fascinant!



Figure 4: L'expérience en pensée la plus heureuse d'Einstein, celle d'un homme qui tombe, qui l'a conduit à sa théorie de la relativité générale. Source : klonusk.



Le vaisseau spatial de l'imagination

La perception de la gravité



Quark :

Bienvenue à bord, jeunes explorateurs ! Êtes-vous prêts pour une nouvelle aventure cosmique ?



Élève 1 :

Toujours ! Quel est le plan, aujourd'hui, Quark ?



Quark :

Aujourd'hui, nous allons vivre la gravité comme vous ne l'avez jamais ressentie auparavant. Attachez vos ceintures !

(Les élèves se dépêchent de trouver leur place, et le vaisseau spatial commence à s'élever. Lorsqu'ils atteignent l'espace, les élèves commencent à flotter à l'intérieur du vaisseau spatial.)



Élève 2 :

C'est incroyable ! On flotte, c'est comme si on nageait sans eau autour de nous !



Quark :

C'est parce que notre vaisseau spatial se déplace à une vitesse constante, vous ne ressentez donc aucune force ni aucun poids. Vous vous souvenez de la première loi du mouvement de Newton ?



Élève 3 :

Oui, si un objet est au repos ou se déplace à vitesse constante en ligne droite, il restera au repos ou continuera à se déplacer en ligne droite à vitesse constante, à moins qu'une force n'agisse sur lui.



Quark :

Exact ! À l'instant présent, vous êtes l'exemple parfait d'un observateur inerte. Tous les objets ici sont immobiles par rapport à vous. Vous n'accélérez pas, vous n'êtes pas dans un champ gravitationnel, et toutes les lois de la physique s'appliquent exactement comme vous vous y attendez.



Élève 4 :

Cela signifie donc qu'il n'existe aucune expérience qui nous permettrait de distinguer notre cadre de référence initial de tout autre cadre de référence.



Figure 5: L'observateur inerte est un observateur hypothétique qui n'est pas accéléré par rapport à un système inerte. Source: Veritasium.



Quark :

Exactement! Maintenant, laissez-moi fermer les fenêtres un instant.

(Le vaisseau spatial commence à retomber vers la Terre.)



Quark :

Ressentez-vous une différence maintenant?



Élève 4 :

Je ressens toujours la même chose, comme si je flottais dans les airs.



Quark :

Intéressant, n'est-ce pas ? Mais laissez-moi ouvrir les fenêtres.



Élève 1 :

Nous nous dirigeons droit vers la Terre ! Mais pourquoi je ne le sens pas?



Quark :

Nous sommes en chute libre. Le vaisseau spatial, y compris nous, descend à la même vitesse. Aucune force ne s'oppose à nous, donc aucune sensation.



Élève 4 :

Ah, tout comme le laveur de vitres dans l'expérience en pensée d'Einstein.



Quark :

Exactement ! La sensation est identique, que vous flottiez dans l'espace lointain ou que vous plongiez vers la Terre. Tout est relatif.



Élève 2 :

Tout est vraiment une question de perspective et de cadres de référence.



Quark :

Ajoutons maintenant un autre élément à cela.

(Quark referme les fenêtres, active le moteur du vaisseau spatial et commence à accélérer vers le haut à une vitesse de $9,8 \text{ m/s}^2$)



Élève 3 :

Waouh ! Je me sens lourd, comme si j'étais poussé vers le sol. Avons-nous atterri sur Terre?



Figure 6: chute libre sur Terre = mouvement libre dans l'espace. Gravité sur Terre = accélération de $9,8 \text{ m/s}^2$ dans l'espace ; c'est-à-dire que l'accélération provoque la gravité. Source: klonusk.



Quark :

Non ! Nous accélérons actuellement vers le haut à $9,8 \text{ m/s}^2$, soit 1 G, la force gravitationnelle de la Terre.



Élève 2 :

Oh, c'est pour ça qu'on a l'impression d'être sur Terre. Encore une fois, je ne vois pas la différence.



Quark :

Exactement, nous avons donc appris que (chute libre sur Terre = mouvement libre dans l'espace) et (gravité sur Terre = accélération de $9,8 \text{ m/s}^2$ dans l'espace), ce que l'on appelle le principe d'équivalence d'Einstein. Arrêtons le moteur pour pouvoir flotter à nouveau. Maintenant, je vais pousser cette balle vers le centre, observez sa trajectoire.



Élève 2 :

Elle se déplace en ligne droite.



Quark :

Maintenant, mettons notre moteur en marche, accélérons à $9,8 \text{ m/s}^2$ et relançons la balle.



Élève 4 :

Maintenant, la balle descend en suivant une trajectoire courbe et touche le sol comme elle le ferait sur Terre!



Quark :

Exactement ! Mais que se passerait-il si cette balle était un rayon de lumière ? La lumière se courberait-elle ? Einstein a répondu oui.



Élève 2 :

Mais la lumière emprunte toujours le chemin le plus court entre deux points, n'est-ce pas ?



Quark :

Exactement, Einstein a postulé que le chemin le plus court n'est pas toujours une ligne droite. Pensez à la surface de la Terre. La distance la plus courte entre deux points est une courbe, et non une ligne droite, en raison de la courbure de la surface de la Terre.

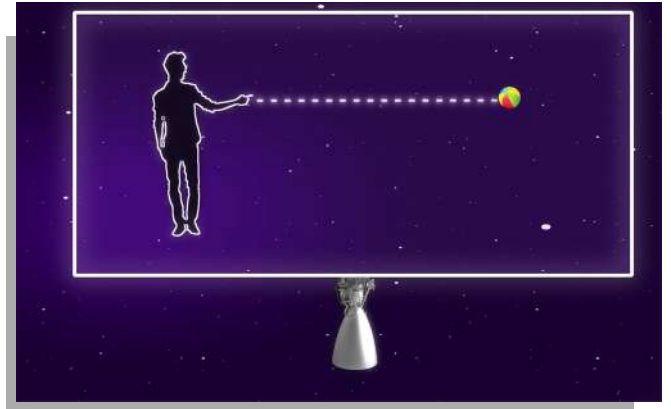


Figure 7: En chute libre, si vous lancez une balle, elle ira en ligne droite. Source: klonusk.

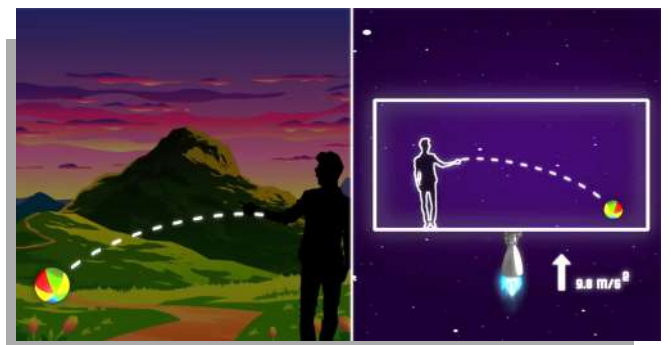


Figure 8: Lancer une balle dans un vaisseau spatial accéléré à $9,8 \text{ m/s}^2$ = Lancer une balle sur Terre. Source: klonusk.

Élève 1 :

Comme les trajectoires de vol sur Terre!

Quark :

Bingo! Ces trajectoires sont appelées «géodésiques». Autre exemple : si nous allons en ligne droite d'un point de la Terre au pôle Nord. De notre point de vue, nous suivons une ligne droite, mais pour un observateur extérieur, nous semblons suivre une trajectoire courbe.

Élève 4 :

Donc, l'idée d'Einstein était que la présence de masse et d'énergie provoque d'une manière ou d'une autre une courbure de l'espace lui-même ?

Quark :

Exactement, ce qui l'a conduit à sa théorie révolutionnaire de la relativité générale, qu'il a publiée en 1915.

Élève 1 :

Oui, mais même s'il se courbe, nous ne pouvons pas le voir à cette vitesse d'accélération de seulement $9,8\text{m/s}^2$.

Quark :

C'est vrai, alors augmentons notre vitesse d'accélération pour que vous puissiez observer la courbure de la lumière.

Élève 3 :

Waouh, Einstein avait raison ! Mais comment cela a-t-il été prouvé à son époque?

Quark :

Excellente question ! Pour mieux comprendre, allons rencontrer le génie à l'origine de cette théorie. C'est parti pour rencontrer le professeur Albert Einstein.

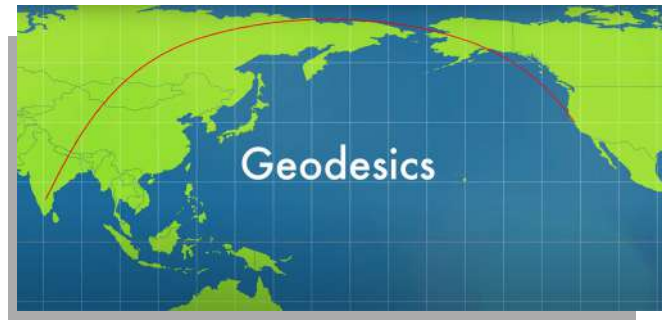


Figure 9: Les géodésiques peuvent être considérées comme les trajectoires « les plus droites possibles » dans un espace donné. La Terre est ronde, donc la trajectoire la plus courte suit une courbe à sa surface. Les avions suivent ces trajectoires pour minimiser la distance de vol. Source: Veritasium.

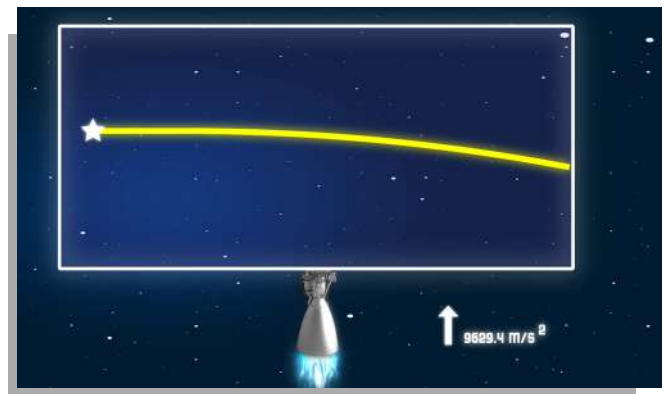


Figure 10: Plus l'accélération gravitationnelle est importante, plus la courbure de l'espace-temps autour d'elle est forte, ce qui entraîne une courbure plus prononcée de la lumière. Source: klonusk

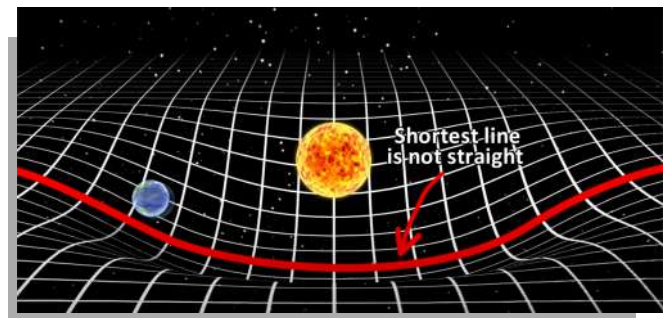


Figure 11: Visualisation de la courbure de l'espace-temps autour d'objets massifs, où la ligne rouge représente la géodésique, un chemin démontrant que la distance la plus courte entre deux points n'est pas une ligne droite, mais une courbe formée par la gravité. Source: Arvin Ash.



Rencontre avec un chercheur

La théorie de la relativité générale et restreinte



Quark :

Élèves, je vous présente quelqu'un qui a changé notre compréhension de l'univers. Le légendaire Albert Einstein!



Einstein :

Guten Tag, jeunes explorateurs! Je suis ravi de partager ce moment cosmique avec vous.



Student 1 :

C'est un honneur, monsieur ! Quark nous a parlé de vos travaux révolutionnaires sur la relativité et de la courbure de l'espace. Mais nous sommes curieux : comment une idée aussi radicale a-t-elle pu être prouvée à votre époque?



Einstein :

Ah, un esprit curieux! Pour que ma théorie soit acceptée, elle devait faire une prédiction vérifiable et distincte des autres explications. La clé résidait dans l'orbite particulière de Mercure.



Student 2 :

Oh! Est-ce la planète qui ne tourne pas autour du Soleil en suivant une ellipse fermée?



Einstein :

Précisément! L'orbite de Mercure présente une précession, ce qui signifie que son orbite elliptique n'est jamais parfaitement fermée. Au contraire, le point le plus éloigné de son orbite par rapport au Soleil avance légèrement à chaque révolution. Cette anomalie intriguait les scientifiques, car les équations de Newton ne pouvaient l'expliquer. Mais lorsque j'ai appliqué ma théorie de l'espace courbe, elle a prédit la précession exacte observée de Mercure!



Student 3 :

Cela a vraiment dû être un moment « Eurêka! » pour vous!

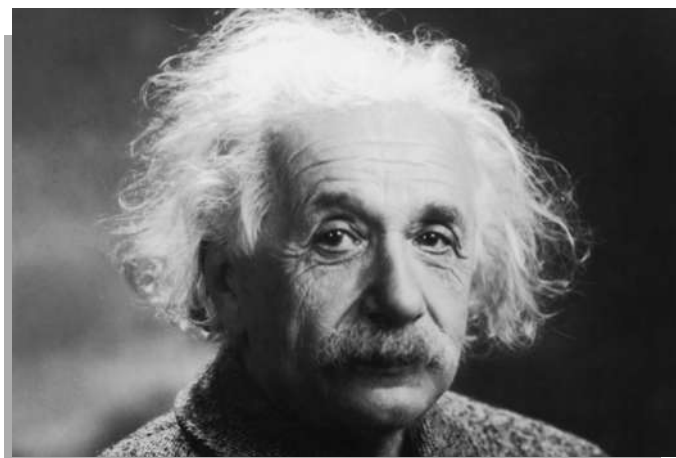


Figure 12: Albert Einstein. Source: Library of Congress.

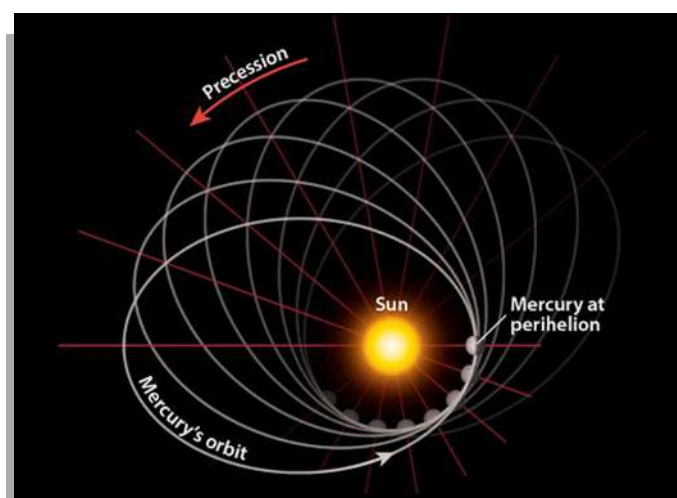


Figure 13: Représentation artistique exagérée du déplacement de l'orbite de Mercure. Ceci est considéré comme le premier triomphe de la théorie générale de la relativité d'Albert Einstein en 1915.



Einstein :

En effet! Imaginez un instant que j'étais la seule âme à comprendre cette danse cosmique. Mais, bien que Mercure ait été un triomphe, beaucoup de mes pairs restaient sceptiques.



Élève 1 :

Alors, comment les avez-vous convaincus?



Einstein :

La preuve la plus concluante est apparue lors d'une éclipse solaire en 1919, près de quatre ans après la publication de ma théorie. Un astronome anglais, Arthur Eddington, a dirigé une équipe chargée de photographier les étoiles proches du Soleil pendant cette éclipse. Ma théorie prédisait que la lumière des étoiles passant près du Soleil serait déviée en raison de la courbure de l'espace créée par la gravité solaire.



Quark :

Et si Einstein avait raison, la position observée de ces étoiles serait différente de leur position attendue sans l'influence du Soleil.



Einstein :

Tout à fait, Quark! Lorsque l'équipe d'Eddington a analysé les photos, la lumière des étoiles s'était courbée exactement comme je l'avais prédit. Cette expérience a confirmé de manière irréfutable ma théorie et a changé à jamais le cours de la physique.



Élève 1 :

Je comprends la courbure de l'espace, mais on parle souvent d'«espace-temps», et pas seulement d'espace. Comment le temps entre-t-il en jeu?



Einstein :

Excellente question. Pour y répondre, nous devons prendre un peu de recul et revenir à ma première théorie : la relativité restreinte publiée en 1905. Fondamentalement, cette théorie présuppose que la vitesse de la lumière reste constante, quel que soit le point de vue ou le cadre de référence. Ainsi, que vous soyez en accélération ou au repos, la lumière se déplacera toujours à la même vitesse.

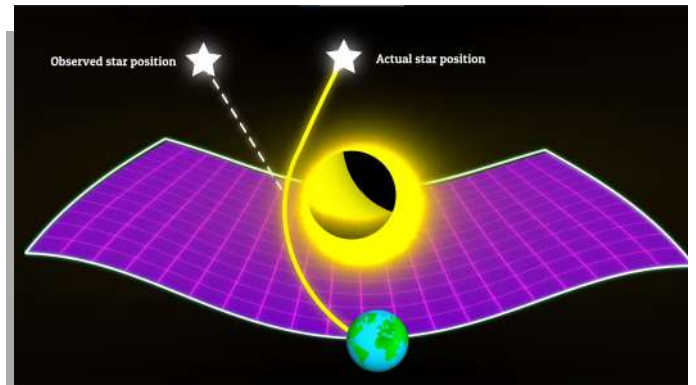


Figure 14: Démonstration de l'effet de lentille gravitationnelle, où la lumière d'une étoile est déviée par la gravité du Soleil, faisant apparaître l'étoile à une position différente dans le ciel vu depuis la Terre. Cet effet illustre la courbure de l'espace-temps prédite par la relativité générale. Source: klonusk.

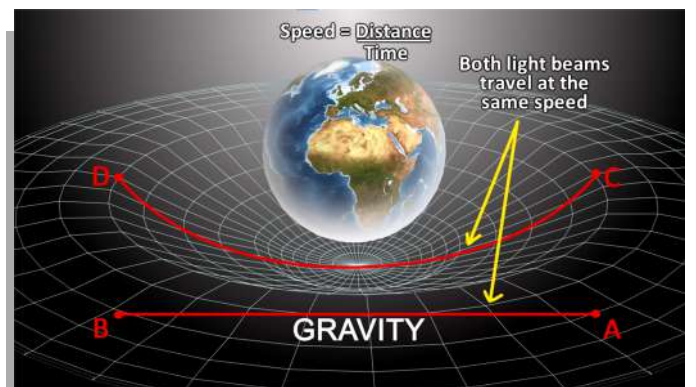


Figure 15: La distance parcourue par la lumière DC, qui est soumise à l'influence de la gravité, est supérieure à celle parcourue par la lumière BA, qui ne l'est pas. Pour que la vitesse de la lumière reste constante, le temps lui-même doit s'écouler plus lentement dans le champ gravitationnel par rapport au temps dans l'espace vide. Source: Arvin Ash.

Élève 3 :

Mais, professeur Einstein, quel est le rapport avec la gravité et le temps?

Einstein :

Considérons ceci : la vitesse est égale à la distance parcourue en un temps donné, représentée par $S = D/T$. Or, en présence d'un champ gravitationnel, le trajet de la lumière s'allonge en raison de la courbure de l'espace. Si nous voulons que la vitesse de la lumière reste inchangée, quelque chose doit céder, et ce quelque chose, c'est le temps. Le temps s'écoule plus lentement dans un champ gravitationnel que dans l'espace vide.

Élève 1 :

Donc, vous dites que le temps se courbe avec la gravité, tout comme l'espace?

Einstein :

Exactement ! La courbure de l'espace près d'un champ gravitationnel affecte le temps, garantissant que la vitesse de la lumière reste constante dans les deux environnements. Ce tissu entrelacé est ce que nous appelons l'espace-temps.

Quark :

Pour mettre cela en contexte, les horloges sur Terre fonctionnent légèrement plus lentement que celles de la Station spatiale internationale. Nous avons vérifié cet effet à travers diverses expériences. Il est même crucial pour la synchronisation des satellites GPS avec les horloges terrestres. Sans cet ajustement, vos applications GPS fourniraient des emplacements incorrects.

Élève 4 :

Oh! Cela me rappelle le film «Interstellar». Il y avait une planète près d'un trou noir où une heure sur la planète équivalait à sept ans en dehors de son influence gravitationnelle. Était-ce basé sur vos théories?

Einstein :

Je n'ai pas vu le film, mais il semble que «Interstellar» ait remarquablement illustré les effets de la dilatation du temps due à des champs gravitationnels intenses.

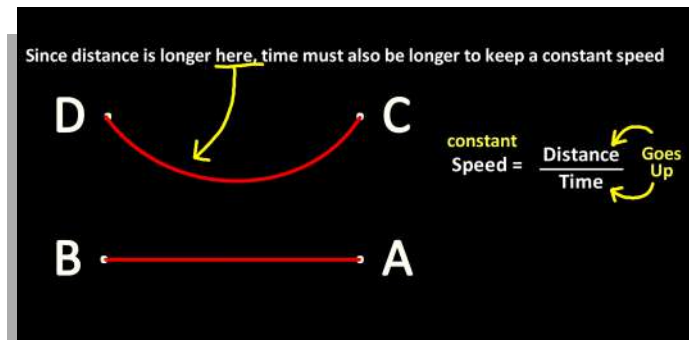


Figure 16: La distance étant plus longue entre DC, le temps doit également être plus long pour maintenir une vitesse constante. Source: Arvin Ash.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$

space-time curvature = stress from stuff in space-time - stress from empty space-time itself



Figure 17: Les équations du champ d'Einstein dans la relativité générale, qui décrivent comment la matière et l'énergie (contrainte exercée par les éléments présents dans l'espace-temps) ainsi que la constante cosmologique (contrainte exercée par l'espace-temps vide lui-même) déterminent la courbure de l'espace-temps. Source: Arvin Ash.



Quark :

Il semble que notre voyage cosmique recèle encore bien des mystères. Merci, professeur Einstein, de nous avoir éclairés aujourd'hui.



Einstein :

Tout le plaisir est pour moi. Posez toujours des questions, émerveillez-vous toujours. L'univers regorge d'énigmes qui attendent d'être résolues.





Labo actif

Demo 1: Bouteille d'eau en chute libre



Objectif :

Démontrer les effets de la chute libre sur les objets et comprendre la théorie d'Einstein selon laquelle, en chute libre, les objets ne « ressentent » plus la gravité de la même manière.



Temps de préparation : 5 minutes



Temps pour l'activité : 5 minutes



Matériel nécessaire :

- Une bouteille en plastique avec un bouchon étanche
- Une épingle ou un petit clou pour faire des trous dans la bouteille
- De l'eau pour remplir la bouteille
- Plastique pour recueillir l'eau qui s'écoule



Démonstration et discussion :



Professeur :

Bon, les élèves, mettons nos connaissances à l'épreuve ! Nous avons beaucoup appris sur la chute libre et sur le comportement des objets sous l'influence de la gravité. Voyons comment la théorie d'Einstein se vérifie dans la pratique.

(Il brandit une bouteille remplie d'eau, percée de plusieurs trous d'où jaillit de l'eau.)



Professeur :

Comme vous pouvez le voir, la gravité fait sortir l'eau hors des trous de cette bouteille. Mais la théorie d'Einstein suggère que lorsqu'ils sont en chute libre, les objets ne « ressentent » plus la gravité de la même manière.



Élève 2 :

Donc, si vous la laissez tomber, l'eau cessera de jaillir parce qu'elle est en chute libre?



Professeur :

Exactement ! Prêts à voir ça? Comptez à rebours à partir de trois.



Élèves :

Trois, deux, un...



Figure 18: Une bouteille remplie d'eau, tenue en l'air, percée de plusieurs trous d'où l'eau jaillit.
Source : giftofcuriosity.com

(Il laisse tomber la bouteille et, comme prévu, l'eau cesse de jaillir pendant que la bouteille est en chute libre.)

 **Élève 3 :**

Waouh! C'était incroyable!

 **Élève 4 :**

Donc, l'eau à l'intérieur de la bouteille était dans un état similaire à l'apesanteur pendant qu'elle tombait?

 **Professeur :**

Exactement. C'est l'essence même de la compréhension de la gravité par Einstein.





Labo actif

Demo 2: Gravité de la feuille élastique spatio-temporelle



Objectif :

Visualiser le concept d'espace-temps courbe tel que proposé par la théorie de la relativité générale d'Einstein et comprendre comment les objets massifs affectent l'espace qui les entoure.



Temps de préparation : 10 minutes



Temps pour l'activité : 15 minutes



Matériel nécessaire :

- Une grande feuille de caoutchouc extensible ou un tissu en spandex
- Un cadre ou un support pour tendre et fixer la feuille (facultatif)
- Une balle lourde (par exemple, une balle en métal ou en caoutchouc)
- Des balles plus petites (par exemple, des billes ou des balles de ping-pong)



Démonstration et discussion :



Professeur :

Maintenant, essayons de comprendre la différence entre la gravité de Newton et celle d'Einstein. Newton envisageait un espace et un temps fixes, où la gravité était une force mystérieuse qui agissait entre les objets, même s'ils ne se touchaient pas. Dans ce modèle, la gravité opérait dans les domaines de l'espace et du temps fixes sans les affecter.



Figure 19: Une petite sphère est poussée en orbite autour de la masse centrale. Source: NASA/-JPL-Caltech | [+ Agrandir l'image](#)



Élève 2 :

Oui, Einstein a proposé que la gravité n'est pas seulement une force entre les objets. Au contraire, elle émerge de l'interaction entre l'espace et les objets massifs.



Professeur :

Excellent ! Pour résumer, comme John Wheeler l'a ensuite résumé en 16 mots : « L'espace-temps dit à la matière comment se déplacer ; la matière dit à l'espace-temps comment se courber. »



Élève 1 :

Donc, les orbites des planètes sont déterminées par la façon dont l'espace se courbe autour d'elles?

 **Professeur :**

Exactement! Sortons une feuille de caoutchouc et étirons-la. Voici à quoi ressemblerait l'espace si nous retirions toutes les masses et toute l'énergie. Voyons maintenant ce qui se passe lorsque je place une balle lourde au centre.

 **Élève 4 :**

Cela provoque un creux dans la feuille.

 **Professeur :**

Exactement. Cette balle lourde représente un corps céleste, comme le Soleil. Sa présence massive courbe l'espace. Maintenant, faites rouler ces petites balles autour de la balle centrale.

 **Élève 3 :**

Waouh, les petites boules semblent orbiter autour de la boule centrale, imitant les planètes dans l'espace courbé par un soleil.

 **Professeur :**

Exactement! La petite balle suivrait la courbe créée par l'objet plus lourd. Mais n'oubliez pas que cette analogie se situe dans un plan en 2D, uniquement à des fins de visualisation. L'interaction réelle se produit en trois dimensions. L'univers réel n'est pas une feuille plate, c'est une vaste étendue dans toutes les directions.

 **Élève 3 :**

Merci! Ces deux démonstrations m'ont aidé à faire le lien entre la théorie et la pratique.

 **Professeur :**

Parfait! Aujourd'hui, dans notre aventure CosmoVerse, nous avons vu que la gravité n'est pas seulement une force agissant mystérieusement à distance, mais une courbure de la structure même de l'univers : l'espace-temps. Nous avons été témoins du génie de la vision d'Einstein. Alors que nous retournons à notre vie quotidienne, continuons à cultiver le sentiment d'émerveillement et de curiosité qui a guidé notre exploration aujourd'hui, en gardant toujours à l'esprit les profonds mystères du cosmos qui attendent d'être découverts.

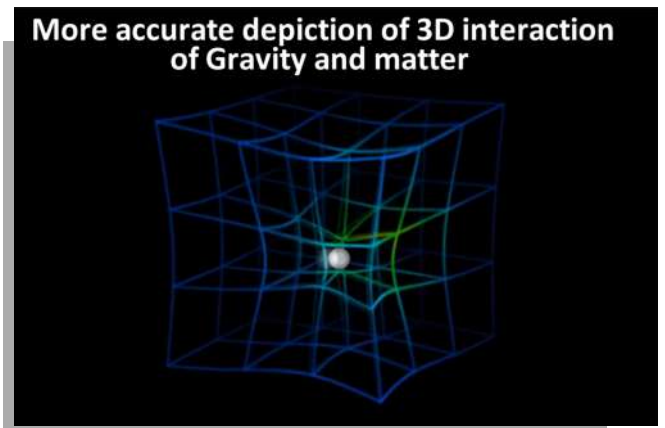


Figure 20: Représentation plus précise de l'interaction en 3D entre la gravité et la matière. Source: lucasvb.tumblr.com



Bibliothèque Cosmique (en anglais)



Videos :

[Why Gravity is NOT a Force](#)

[General Relativity Explained simply & visually](#)

[If light has no mass, why is it affected by gravity? General Relativity Theory](#)

[Einstein's Special Relativity Theory | Does Time really Slow down](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[How Does Gravity Affect Light?](#)

[Base for Special Relativity theory | Why is the speed of light constant](#)

[Special Relativity: Crash Course Physics #42](#)

[Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe - BBC](#)

[Gravity Visualized](#)



Interactive :

[Modeling the Orbits of Planets](#)

[General Relativity explained like you've never seen before](#)

[A toolkit for teaching general relativity: II. Geodesics](#)

[Space-time concept](#)

[Relativity Simulator](#)

[Special Relativity: Time dilation](#)



Websites & Articles :

[Einstein Online](#)

[General Relativity](#)

[The Space Doctor's Big Idea](#)



Documentaries :

[What Inside Albert Einstein Mind The Theory of General Relativity Documentary](#)

[General Relativity, National Geographic](#)

[Einstein's Big Idea, PBS NOVA](#)

[Einstein's Universe: Understand Theory of General Relativity](#)



Quiz :

[General Theory of Relativity](#)

[General Relativity Theory of Gravitation](#)

[Relativity flash cards quiz](#)



Games :

[Relativity 101](#)



Glossaire

Constante cosmologique: Terme ajouté par Einstein à sa théorie générale de la relativité afin de permettre l'existence d'un univers stationnaire, aujourd'hui considéré comme lié à l'énergie noire.

Principe d'équivalence: Principe en relativité générale stipulant que la force gravitationnelle ressentie localement lorsqu'on se trouve sur un corps massif (comme la Terre) est identique à la pseudo-force ressentie par un observateur dans un référentiel accéléré.

Chute libre: Mouvement d'un corps sur lequel la gravité est la seule force agissant.

Théorie générale de la relativité: Théorie de la gravitation développée par Albert Einstein, qui décrit la gravité non pas comme une force, mais comme une conséquence de la courbure de l'espace-temps causée par la distribution inégale de la masse.

Géodésiques: Chemin le plus court entre deux points dans un espace ou un espace-temps courbe.

Champ gravitationnel: Région autour d'une masse où d'autres masses subissent une force d'attraction gravitationnelle.

Lentille gravitationnelle: Phénomène par lequel la lumière provenant d'un objet distant est déviée autour d'un objet massif situé entre la source et l'observateur, un peu comme une lentille.

Observateur inertiel: Observateur qui n'est pas en accélération et qui observe les lois de la physique se comporter de manière standard et prévisible.

Courbure de la lumière: Phénomène par lequel les rayons lumineux passant à proximité d'un objet massif sont courbés en raison de la courbure de l'espace-temps, prédit par la théorie de la relativité générale d'Einstein.

Loi de la gravitation universelle de Newton: Théorie d'Isaac Newton selon laquelle toute masse attire toute autre masse avec une force proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

Précession de Mercure: Déplacement progressif de l'orbite de Mercure, tel que prédit par la relativité générale, fournissant une première preuve de cette théorie.

Mécanique quantique: Théorie fondamentale de la physique qui décrit les propriétés physiques de la nature à l'échelle des atomes et des particules subatomiques.

Espace-temps: Continuum à quatre dimensions combinant les dimensions de l'espace et du temps. Selon la théorie de la relativité, la présence de masse et d'énergie « déforme » l'espace-temps, et cette courbure est ce que nous percevons comme la gravité.

Vitesse de la lumière: Vitesse constante à laquelle la lumière se propage dans le vide, soit environ 299,792,458 mètres par seconde.

Dilatation du temps: Différence entre le temps écoulé mesuré par deux observateurs, due à une vitesse relative entre eux ou à une différence de potentiel gravitationnel entre leurs emplacements.

Trou de ver: Pont ou tunnel hypothétique dans l'espace-temps qui pourrait relier des points extrêmement éloignés dans l'univers.

This article/publication is based upon work from COST Action CA21136 – “Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)”, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology)

COST (European Cooperation in Science and Technology) is a funding agency for research and innovation networks. Our Actions help connect research initiatives across Europe and enable scientists to grow their ideas by sharing them with their peers. This boosts their research, career and innovation.

www.cost.eu

