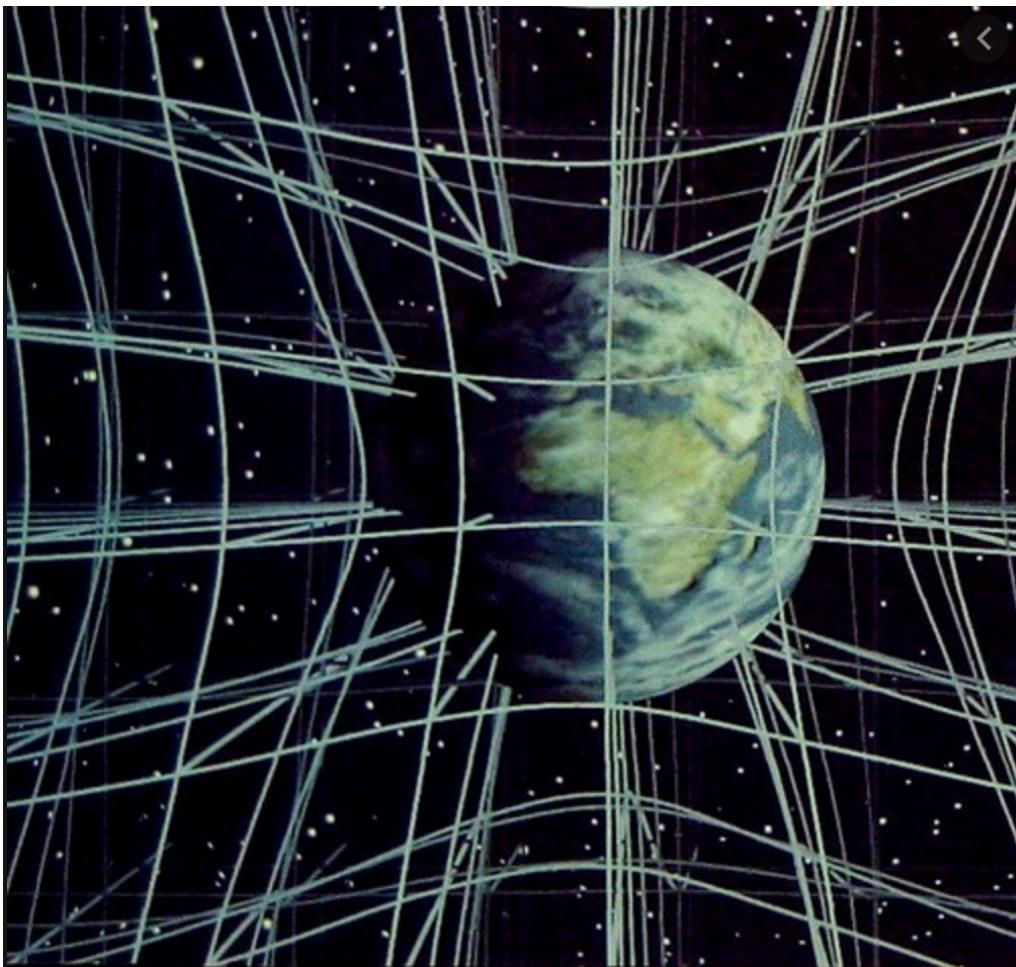


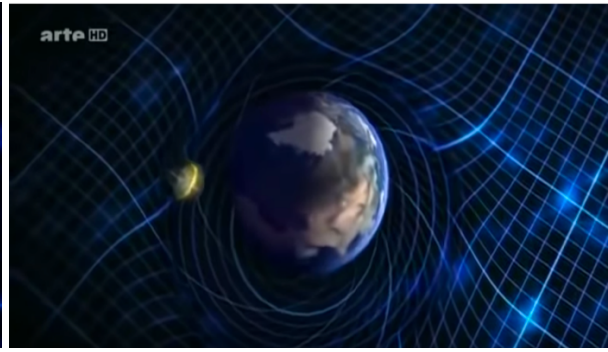
5. L'espace-temps en Relativité



Après avoir compris ce qu'est la gravité dans l'espace, il faut maintenant s'atteler à mieux comprendre un autre concept d'Einstein, encore plus étrange : l'espace-temps. Nous savons maintenant que la gravitation est la déformation du milieu élastique, qu'est l'espace, occasionnée par les objets qui s'y trouvent.



L'espace ou la gravité comme de la gelée peut se courber, se tordre, onduler par le mouvement et le poids des objets qui y demeurent et qui s'y meuvent.



Mais que vient faire le temps dans l'espace ?

Le temps gouverne notre vie, allez dans une gare et vous le verrez.

Mais le temps n'est pas ce qu'il paraît. Il n'y a peut-être pas de distinction entre passé, présent et futur. Si le temps n'est pas ce que nous croyons, alors qu'est-ce que c'est ?

A-t-il eu un début ?

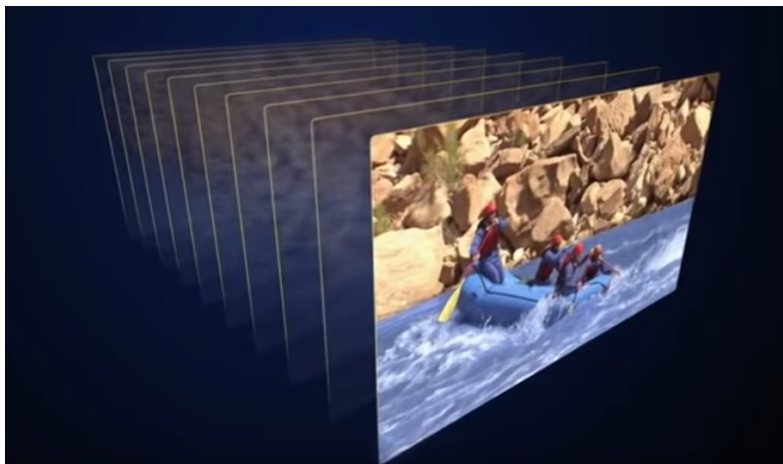
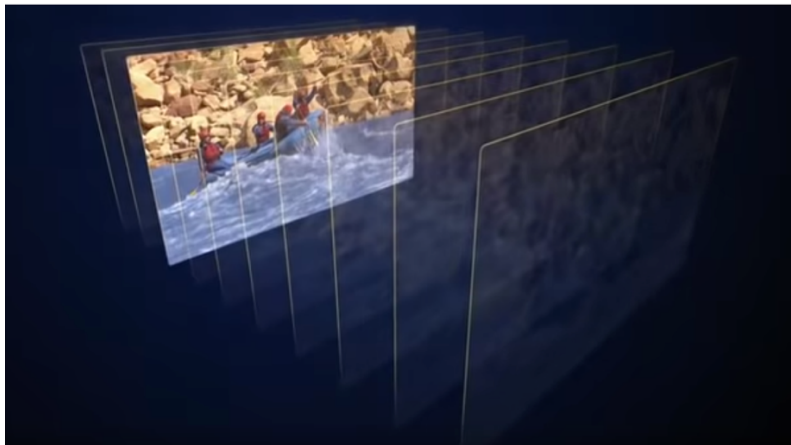
Aura-t-il une fin ?

D'où vient-il ?

On a coutume de dire que le temps file, que l'on perd son temps, qu'on tue le temps, on tente de gagner du temps. Mais que savons-nous sur le temps à proprement parlé ?

Tout comme un fleuve, le temps semble perpétuellement s'écouler d'un moment à un autre. Le flux du temps semble invariable, semble se mouvoir dans une seule direction, vers le futur.

Mais ce n'est peut-être pas vrai. Les découvertes du siècle dernier ont montré que la plupart de nos idées sur le temps ne sont sans doute rien de plus qu'une illusion ! Contrairement à notre ressenti quotidien, le temps ne s'écoule probablement pas du tout, notre passé n'a pas disparu et notre futur existe déjà !



Le temps, c'est cette chose que nous connaissons tous intimement, jusqu'à ce qu'on nous demande d'en parler.

Le temps c'est LA question de la physique !

En fait, il n'y a aucun aspect du temps que nous comprenions véritablement.

Nous mesurons le temps avec une précision croissante depuis des milliers d'années.

D'une certaine manière, la première horloge n'avancait qu'une fois par jour, il s'agissait de la Terre en rotation, de cette rotation quotidienne de notre planète sur son axe, en un jour, et à son orbite autour du soleil en un an.

Nous avons toujours utilisé le mouvement prévisible et constant de la Terre pour mesurer le temps. Le temps n'est qu'un processus répétitif.

En mesurant le mouvement de la Terre avec des cadrans solaires, nous avons divisé la journée en heures. Avec le balancement d'un pendule, nous avons divisé les heures en minutes et en secondes. Et avec la vibration d'un cristal de quartz, nous avons amélioré la précision au millième de seconde près.

Et maintenant, encore davantage, avec l'horloge atomique qui émet précisément 9 192 631 770,012853 milliards d'oscillations, d'impulsions de lumière par seconde ! C'est stupéfiant comme précision !

Mais les horloges ne nous disent pas ce qu'est le temps.

On est toujours en train de penser au temps, on se souvient du passé, on fait des projets pour l'avenir. Au fond, toute notre vie se déroule au rythme de ce tic-tac.

Au début du transport ferroviaire, le temps apparaît très vite comme un problème.

En ce temps-là, chaque localité fixait l'heure selon ses propres critères : il était midi quand le soleil atteignait approximativement son zénith. Et quant à l'heure qu'il était ailleurs, cela n'avait aucune espèce d'importance. Pour compliquer encore davantage les choses, les trains adoptaient l'heure de la localité où ils avaient commencé leur circuit. Du coup si quelqu'un allait de Paris à Genève, il serait resté à l'heure de Paris tout le long du voyage puisque Paris était la ville du départ. Mais s'il avait été dans l'autre direction c'est-à-dire de Genève à Paris, il serait resté à l'heure de Genève !

Petit à petit, il y a eu de plus en plus de lignes de chemin de fer et de plus en plus d'heures différentes. Tout cela est devenu d'une complexité cauchemardesque, la nécessité de coordonner les horloges sur de longues distances s'est vite imposée... tout particulièrement lorsqu'il n'y avait qu'une voie unique pour relier les gares entre elles !

C'est alors que commence l'histoire moderne du temps.

Le besoin de synchroniser le temps devient de plus en plus pressant.

Ainsi, à la même époque, un jeune physicien du nom d'Albert Einstein est engagé à l'office des brevets de Bern en Suisse. Il a donc accès à toutes les grandes inventions de l'époque, les brevets proposaient toutes sortes de méthodes pour synchroniser les horloges.

Tout ce qui concerne le temps a toujours passionné Einstein. Aussi toutes ces inventions pour mesurer le temps lui offrent une source d'inspiration inattendue.

Bientôt il va ébranler le monde avec une théorie radicale sur la nature du temps. Einstein découvre que ces tentatives pour synchroniser le temps touchent à des enjeux bien plus importants que ces soucis d'organisation. Il s'aperçoit que ses réflexions révèlent une faille profonde dans notre compréhension du temps en tant que tel.

Depuis Newton, le temps était une propriété immuable de l'univers, il change toujours au même rythme. Le temps suit son cours et on ne peut rien y changer.

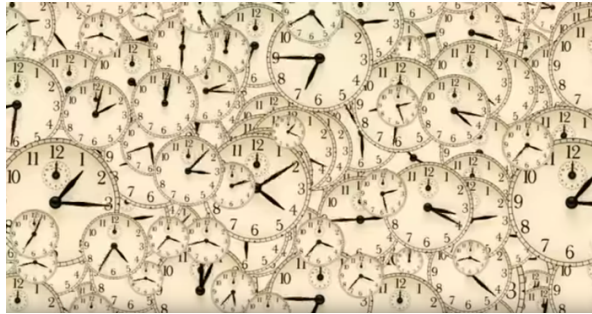
Cette vision semble logique mais Einstein se rend compte qu'elle est fautive. Il découvre que le temps s'écoule à différents rythmes.

Einstein dit que le temps n'est pas une donnée universelle, il n'y a pas de temps universel, il y a des temps.

Le Temps selon Newton



Le Temps selon Einstein



Il en est arrivé à cette conclusion stupéfiante en mettant en évidence une connexion cachée entre l'espace et le temps. Il a compris qu'**il y a un lien profond entre le mouvement dans l'espace et l'écoulement du temps**. Le mouvement dans l'espace affecte l'écoulement du temps. Cette découverte d'Einstein a pulvérisé la conception newtonienne de la réalité.

Pourquoi ne le constate-on pas dans la vie de tous les jours ?

Car à la vitesse réduite à laquelle on évolue ici sur Terre, l'impact du mouvement sur le temps est si faible qu'on ne le perçoit pas. Mais l'effet est bien réel et peut être mesuré.

Pour cela, il nous faut trois horloges atomiques et un avion à réaction. Cette expérience a été faite en 1971 : des scientifiques se sont envolés chacun à l'autre bout du monde avec une horloge atomique qu'ils ont ensuite comparée à une autre horloge de référence restée au sol. Comme l'avait prédit Einstein, les horloges n'affichaient plus la même heure ; elles n'étaient désynchronisées que de centaines de milliardième de seconde mais c'était bien la preuve que le mouvement affecte l'écoulement du temps.

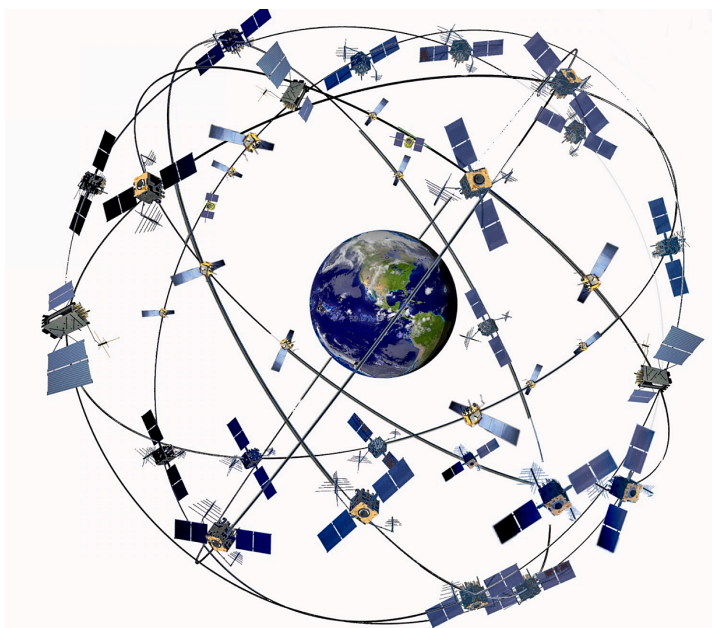
Cette théorie a été mise à l'épreuve à maintes reprises et se confirme à chaque fois. C'est vraiment la base de notre compréhension du fonctionnement de la nature. Ces effets autrefois considérés comme minimes et obscurs sont devenus très évidents avec la technologie actuelle.

Sans Einstein, pas de GPS

On parle beaucoup de valoriser d'avantage la recherche fondamentale mais souvent le grand public s'interroge sur les retombées technologiques de cette recherche sans réel but pratique. Les exemples ne manquent pas, à commencer par la mécanique quantique, sans laquelle l'électronique et l'informatique n'existeraient pas !

Prenons le cas de la théorie de la Relativité Générale, cette théorie qui nous permet de comprendre ce qu'est un trou noir ou la gravitation, joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du GPS.

Ce qu'il faut retenir est que le GPS est constitué d'une flotte d'une vingtaine de satellites qui orbitent autour de la Terre à une altitude d'environ 20 000 km. Ils effectuent exactement 2 tours de la Terre par jour au-dessus de nos têtes.



Où que vous soyez sur le globe, vous êtes en vue directe avec, au moins, 4 de ces satellites. Chaque satellite contient une horloge atomique et émet en permanence des messages sous forme d'ondes, ces messages contiennent leur heure d'émission. Alors connaissant la vitesse de transmission des ondes (qui est celle de la lumière), on peut trianguler votre position et vous situer par rapport aux satellites.



C'est ce que fait votre petit boîtier de GPS !

Ces horloges atomiques sont difficiles à fabriquer et très coûteuses. Pourquoi a-t-on besoin d'une telle précision pour les GPS ?

La précision de votre positionnement dépend directement de celle du timing du message. Le signal se propage à la vitesse de la lumière, soit 300 000 km/s.

Avec un GPS, on veut pouvoir se situer à 10 mètres près. Cette distance de 10 mètres est parcourue en 30 milliardièmes de seconde par le signal, l'horloge doit donc être précise à 30 nanosecondes !

Et pour atteindre cette précision dans l'horloge interne du satellite, nous avons besoin d'Einstein ! Pour fabriquer des horloges atomiques précises à 30 nanosecondes, il faut comprendre exactement comment le temps s'écoule.

Or, avec ses théories de la Relativité, Einstein a découvert que l'écoulement du temps cache quelques subtilités :

1. Premier élément à prendre en compte : le temps est ralenti pour les objets en mouvement et nos satellites se déplacent à 14 000 km/h sur leur orbite et on peut calculer qu'ils subissent un ralentissement du temps de 7 microsecondes par jour par rapport à nous.
2. Le deuxième effet est que le temps s'écoule plus lentement dans un champ gravitationnel plus intense. Or nos satellites sont en altitude et l'attraction gravitationnelle qu'ils subissent est environ 20 fois plus faible que la nôtre. Cet effet fait que leur temps est accéléré de 45 microsecondes par jour par rapport au nôtre.

Si on fait la somme nette de ces deux corrections, le temps qui s'écoule à bord des satellites est accéléré d'environ 38 microsecondes chaque jour. En multipliant par la vitesse de la lumière, on voit que si on ne prenait pas en compte cet effet, l'indication du GPS se décalerait d'environ 10km par jour.

Autrement dit, le système GPS fonctionnerait avec la précision requise pendant environ seulement 2 minutes après sa mise en route, si l'on ne tenait pas compte de ces deux paramètres. On pourrait lire dans le journal ce genre de faits divers : elle suit les instructions de son GPS et finit dans le lac de Genval ! Pas terrible pour un équipement à 10 milliards de dollars !

En conclusion, sans les travaux ultra-théoriques et fondamentaux d'Einstein au début du 20ème siècle, sans sa Relativité Générale, on n'aurait jamais pu fabriquer le GPS !

Revenons à l'espace-temps, principe qui reste très étrange, pour le commun des mortels.

Plus on a de l'un, moins on a de l'autre.

Plus vite on se déplace, moins le temps s'écoule.

Moins vite on se déplace, plus le temps s'écoule rapidement.

Il y a une relation entre les deux, c'est comme s'il y avait un certain quota et il faut choisir comment le dispatcher entre les deux forces.

Si toute l'énergie se focalise sur le temps, alors il ne reste plus beaucoup d'énergie pour le mouvement dans l'espace.

Avec la découverte de ce lien inattendu, le temps et l'espace ne peuvent plus être considérés comme deux choses distinctes. En réalité, ils se fondent ensemble pour former ce qu'on appelle aujourd'hui l'espace-temps.

Einstein unifie la notion d'espace et la notion de temps dans une structure quadridimensionnelle que l'on appelle l'espace-temps.

Quadridimensionnelle : longueur, largeur, hauteur et temps.



Cette fusion de l'espace et du temps va conduire Einstein à une révélation encore plus hallucinante : la différence marquée que nous voyons entre le passé, le présent et le futur n'est peut-être qu'une illusion.

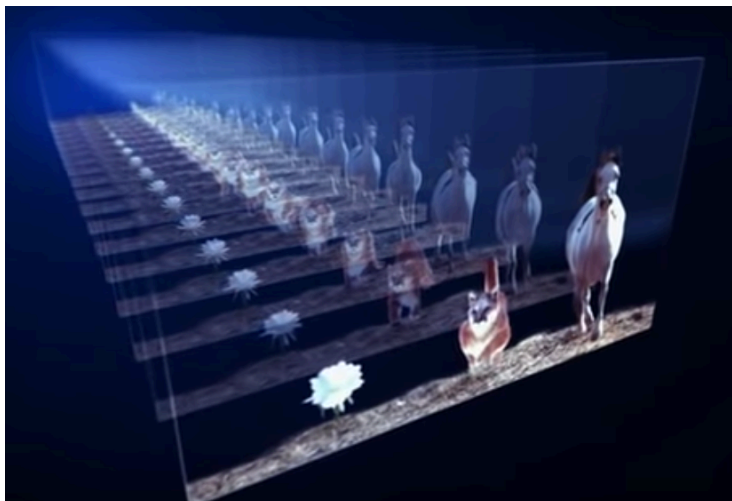
Dans la vie de tous les jours, nous percevons le temps comme un flux continu mais on peut aussi se le représenter comme une succession d'instantanés ou de moments.



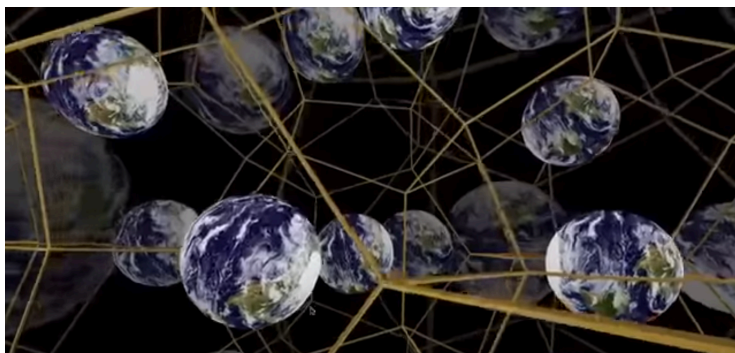
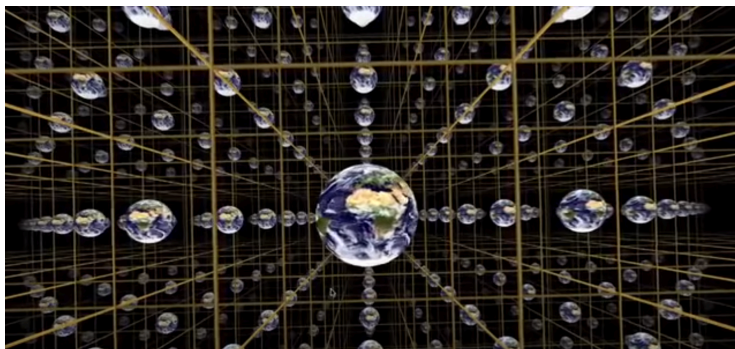
Tout ce qui se produit doit alors être considéré comme le déploiement d'un moment, puis d'un autre, puis d'un autre...



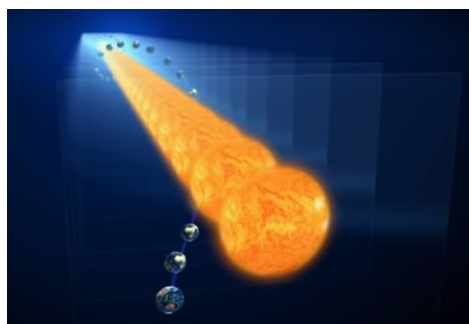
Tous ces moments, ces instantanés, se présentent les uns derrière les autres :



Et c'est pareil pour tous les moments, ici sur Terre :



Ou tous les moments de la Terre en orbite autour du soleil :



Et tous les moments dans l'ensemble de l'univers.

On verrait alors tous les éléments qui se sont produits ou se produiront à chaque instant :



Chaque emplacement dans l'espace et chaque moment sans exception dans le temps. Depuis la naissance de notre univers, lors du big bang, à la formation des étoiles, à la création de la Terre, à l'époque des dinosaures et aux événements qui se produisent aujourd'hui sur Terre.



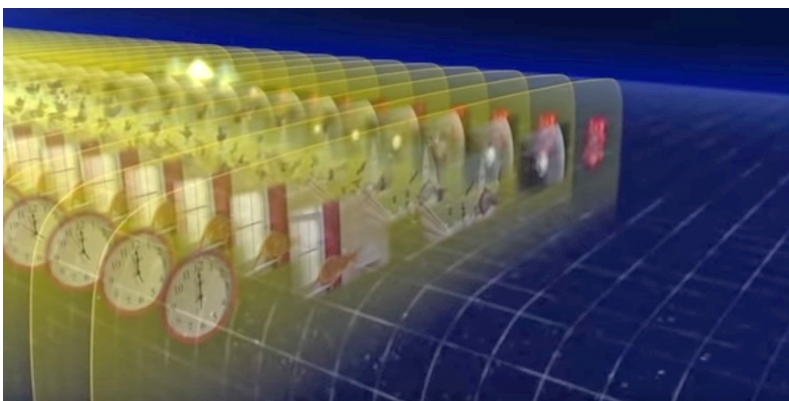
Concevoir tout l'espace-temps de cette façon a conduit Einstein à réfuter en bloc la vision qu'on avait du passé, du présent et du futur.

Pour mieux comprendre cette idée, il faut penser au concept apparemment simple de « maintenant ».

Tout ce qui, selon chacun, est en train de se produire au même moment dans le temps mais à différents emplacements dans l'espace, forme la perception intuitive de chacun, le « maintenant ».

On peut les représenter aligner sur une même tranche d'espace-temps.

Appelons cela « **une tranche de maintenant** ».



Le bon sens voudrait que vous, moi et tous les autres, nous tombions d'accord sur ce qui se passe ou ce qui existe maintenant, moment après moment, c'est-à-dire que nous serions tous d'accord sur ce que contient une tranche donnée de maintenant.

Mais Einstein a montré qu'étrangement quand on prend en compte le mouvement, cette représentation logique du temps vole en éclats. Il existe différentes façons de découper l'espace-temps en de nombreuses tranches de maintenant. Autrement dit, comme le mouvement affecte l'écoulement du temps, **quelqu'un qui bouge n'aura pas la même conception de ce qui est entrain de se passer maintenant**, ses tranches de maintenant n'auront pas le même angle de coupe. Elles ne seront pas parallèles à celui qui ne bouge pas.

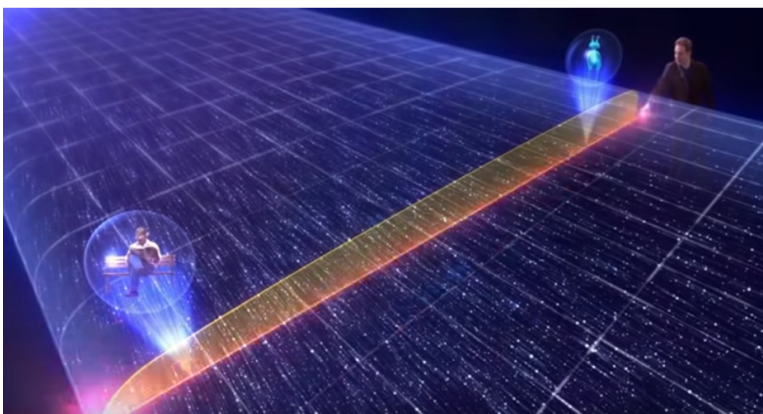
Illustrons cela en imaginant un extraterrestre dans une galaxie à dix milliards d'années-lumière de la Terre...



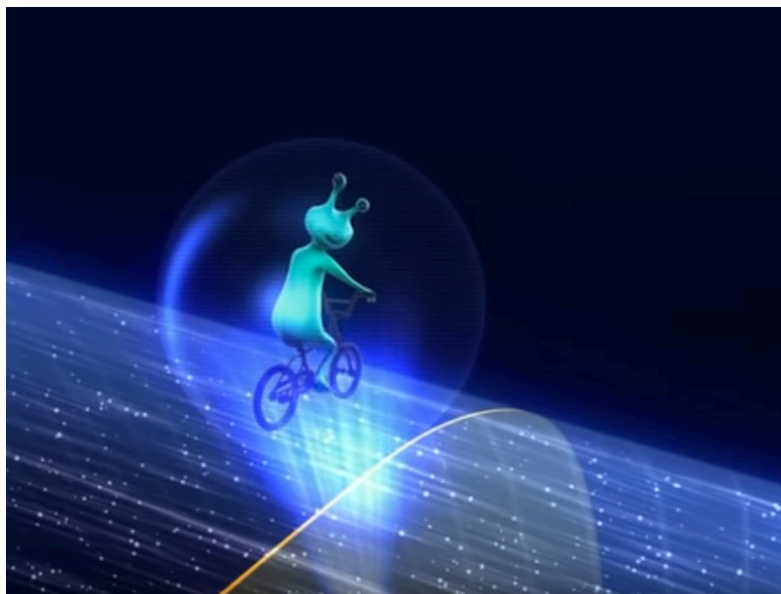
et tout là-bas sur Terre, une personne sur un banc.



Si ces deux-là restent stationnaires, qu'ils ne bougent pas l'un par rapport à l'autre, la trotteuse de leur montre tourne au même rythme et ils partagent ainsi les mêmes tranches de maintenant.

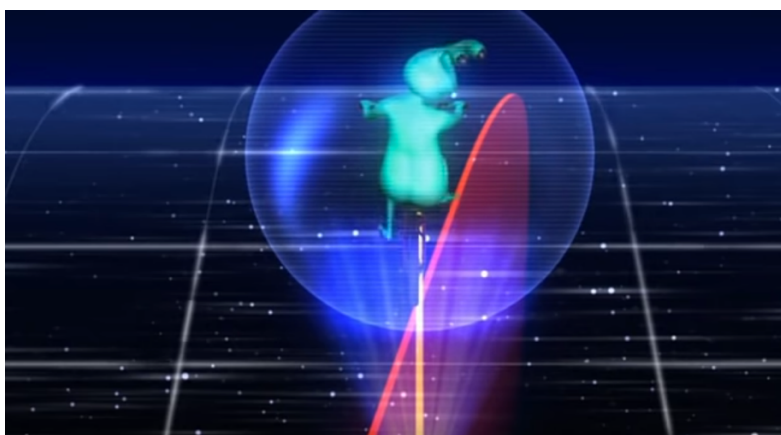
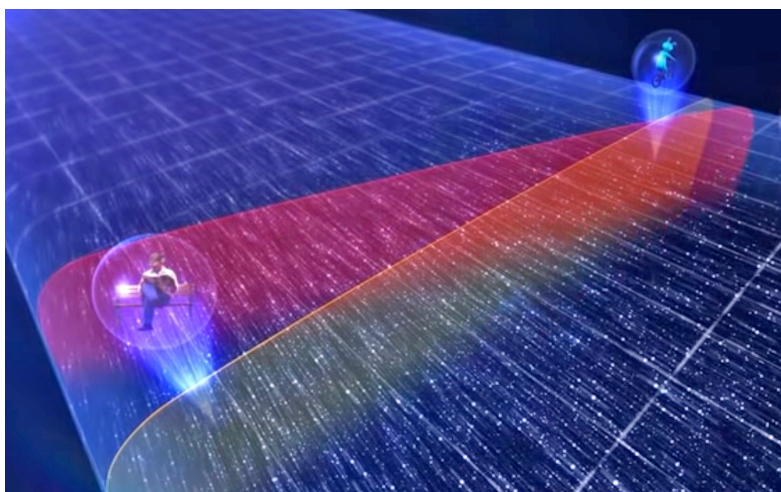


Mais si l'extra-terrestre grimpe sur sa bicyclette et s'éloigne inexorablement de la Terre.

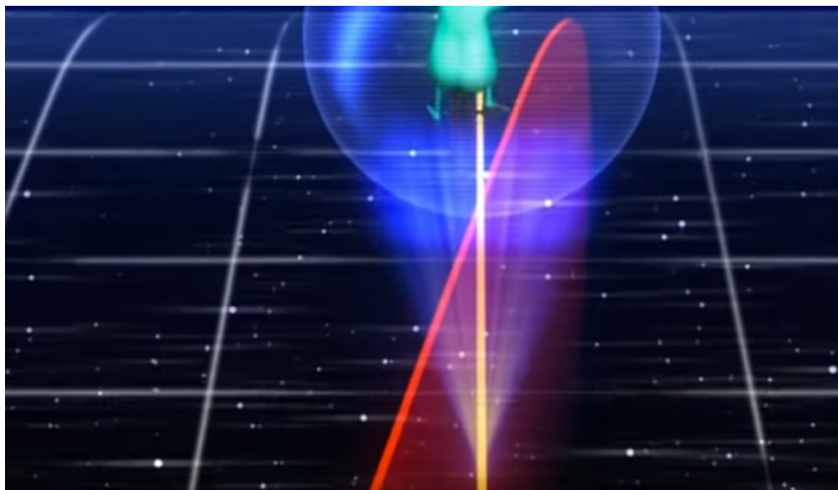


Etant donné que le mouvement ralentit l'écoulement du temps, leurs horloges ne tournent désormais plus à un rythme similaire et si leurs horloges ne sont plus en phase, leurs tranches de maintenant ne sont plus en phase non plus.

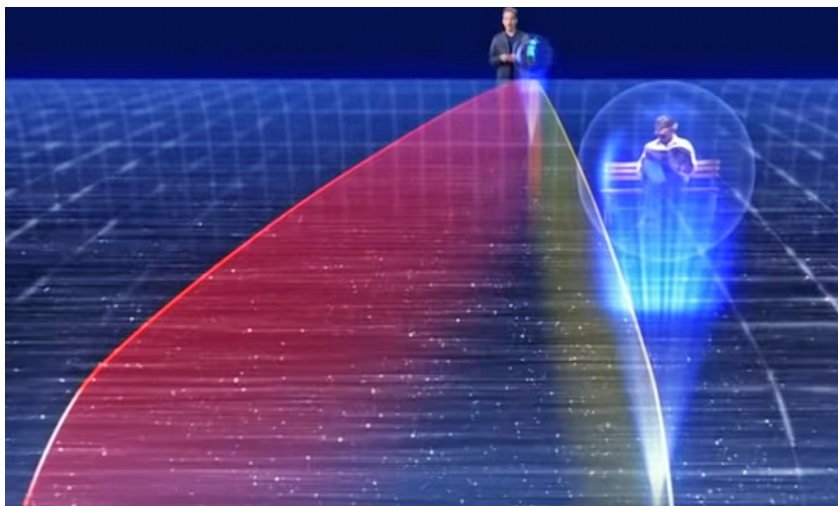
Les tranches de l'extra-terrestre ne sont plus découpées de la même manière, elles sont dorénavant tournées vers le passé par rapport à l'autre personne.



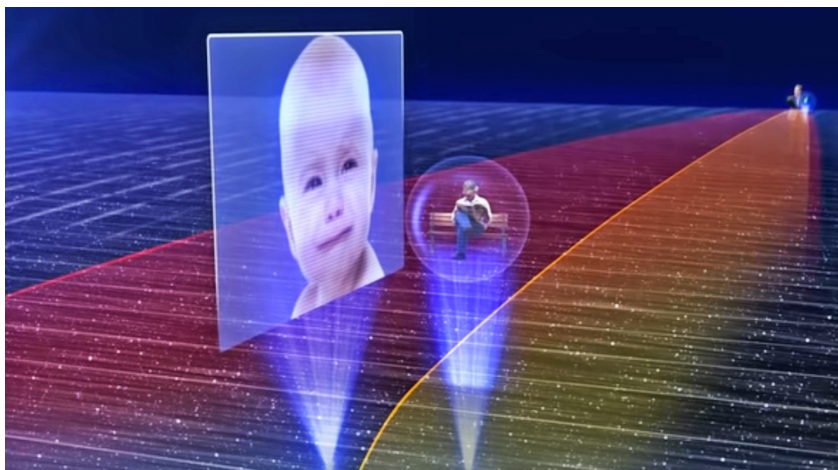
Comme l'extra-terrestre pédale sans se presser, ses tranches ne dévient que de quelques degrés vers le passé.



Mais à une telle distance, cet angle minuscule du départ s'élargit et produit une différence gigantesque dans le temps.



Tant est si bien que la tranche de maintenant de l'extraterrestre exclut la personne assise sur Terre.

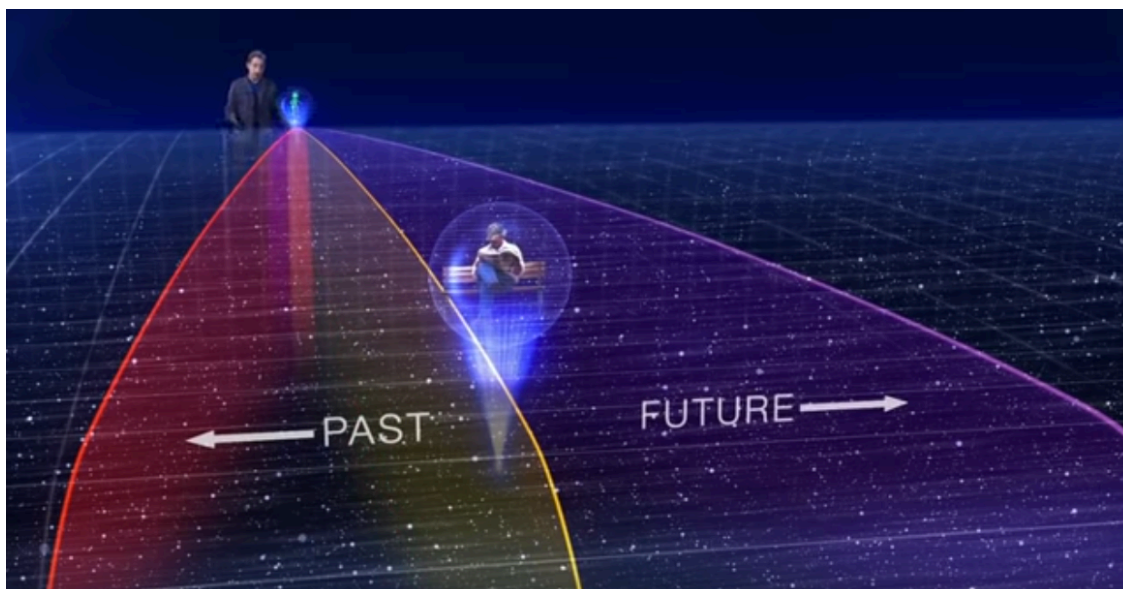


Celle-ci a 40 ans de moins et est encore bébé.

En continuant à pédaler, étonnamment la tranche de maintenant de l'extraterrestre s'est étalée sur plus de 200 ans d'histoire terrestre et contient désormais des événements qui, à nos yeux, appartiennent à un lointain passé comme la mort de Kennedy, la bombe d'Hiroshima, la guerre 14-18 ou Beethoven terminant la 5e symphonie.

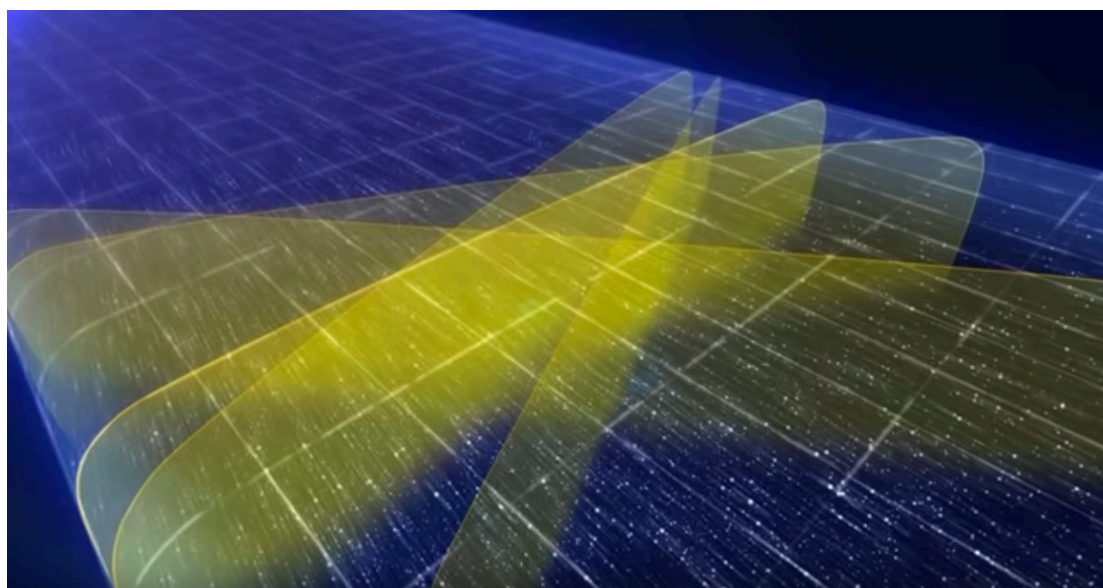
Même à une vitesse relativement lente, on peut avoir un écart considérable sur la notion de maintenant, **si l'on est assez distant dans l'espace.**

Et comme si tout cela n'était pas suffisant, la direction du déplacement n'est pas sans conséquence : si l'extraterrestre fait demi-tour et qu'il pédale vers la Terre, sa nouvelle tranche de maintenant se décale vers le futur. Ainsi faisant, elle englobe les événements qui ne se produiront sur Terre que d'ici 200 ans !



Quand on sait que votre maintenant peut être ce que je considère comme le passé, ou que je considère comme le futur, suivant mon emplacement, et que votre maintenant est tout aussi valable que mon maintenant à moi, on comprend que le passé est forcément réel et que le futur l'est forcément aussi, il pourrait être votre maintenant.

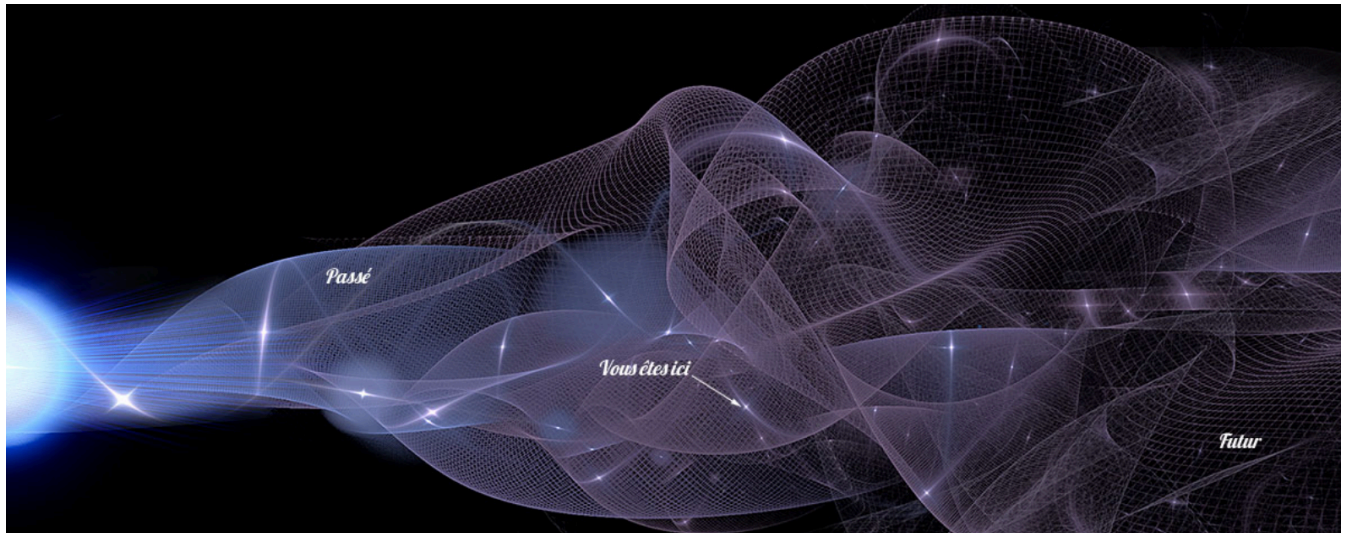
Autrement dit, le passé, le présent et le futur sont tous réels au même titre, ils existent tous !



Si l'on croit les lois de la physique, le passé n'a pas disparu et le futur n'est pas non existant. Le passé, le présent et le futur existent tous exactement de la même manière.

Avec cette proposition audacieuse, Einstein fait voler en éclats l'un des fondements de notre conception du temps. Pour lui, la distinction entre le passé, le présent et le futur n'est qu'une illusion, quoique persistante.

Il faut se dire que tous les moments du temps existent déjà, à la manière d'un film contenu en entier sur la pellicule. Au cinéma, un projecteur éclaire une image après l'autre à mesure qu'elles défilent. Dans les lois de la physique, notre cerveau crée peut-être cette impression de réalité. Ce que nous ressentons tous comme l'écoulement du temps n'est probablement rien de plus qu'une illusion !



Si le temps est contenu tout entier quelque part, serait-il possible de voyager dans le futur ou dans le passé ?

La machine à voyager dans le temps n'existe pas encore, sauf à Hollywood !

Pourtant il se pourrait que cela soit possible... grâce à la gravité selon Einstein. Sa théorie montre que la gravité comme le mouvement influent sur le temps.

C'est comme si la gravité parvenait à absorber le temps pour en ralentir son passage. Plus l'attraction gravitationnelle est forte, plus le temps ralentit.

Si on pouvait voyager jusqu'à un trou noir, l'effet de la gravité sur le temps serait énorme, le champ gravitationnel est des milliards de fois plus fort que celui de la Terre. Avec une telle gravité, le temps est presque à l'arrêt !

Je pourrais en étant à l'horizon d'un trou noir **ou** en voyageant à une vitesse proche de la lumière, ralentir le temps. Pour moi, il se serait passé quelques heures mais quand je reviendrais sur Terre, 50 ans se seraient écoulés !

Ce qu'il faut retenir est que deux éléments font varier le temps : une grande *vitesse* ralentit le temps, tandis qu'une faible *gravité* l'accélère.

Théoriquement nous pourrions aller dans le futur et retourner dans le passé. Mais pourquoi alors notre temps se déplace-t-il toujours vers le futur ?

C'est ce que les scientifiques appellent « la flèche du temps » et ils ne la comprennent pas.

Pourquoi vit-on dans un environnement où le temps a une direction, c'est un mystère.

Ce n'est pas vrai pour le mouvement dans l'espace. Je peux aller de Paris à New York et puis changer d'avis et revenir.

Le temps a donc un mouvement unidirectionnel qui nous échappe. C'est sans doute les lois de la physique qui rendent la chose impossible. Mais quoi ? Bizarrement rien dans les équations connues ne nous empêche de retourner dans le passé.

On a donc une contradiction entre la physique qui semble fondamentalement réversible et la vie qui semble irréversible. Il nous manque certainement un morceau du puzzle.

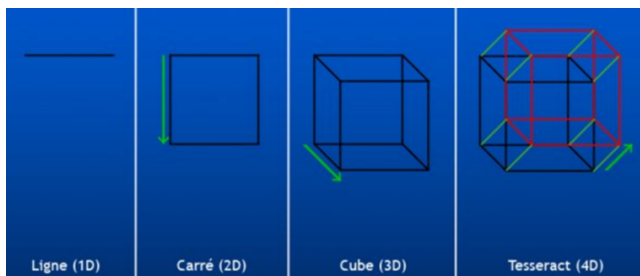
Il est vrai que si nous pouvions retourner dans le passé, il y aurait un paradoxe. Les événements deviendraient très confus. En modifiant un épisode dans le passé, comme par exemple, empêcher que nos parents ne se rencontrent, que deviendrions-nous ? L'on pourrait aussi se demander : comment se fait-il que l'on n'ait encore jamais vu de touristes du futur venir nous rendre visite ?

Résumons les théories de la Relativité restreinte et générale d'Einstein :

- La vitesse de la lumière est de 300 000 km par seconde et est constante dans n'importe quelle situation.



- Le temps est une quatrième dimension.



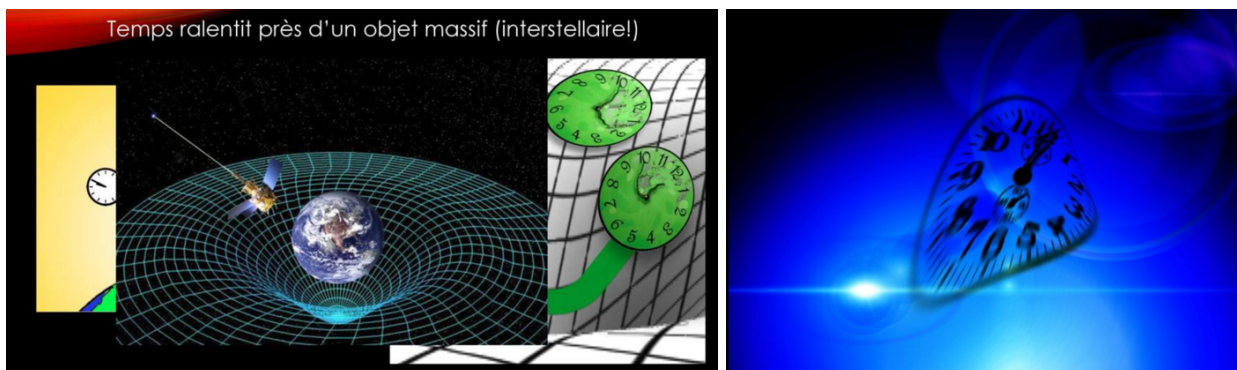
- Plus vite on se déplace dans l'espace, plus lentement on se déplace dans le temps et inversement proportionnel. La notion de temps est donc relative.



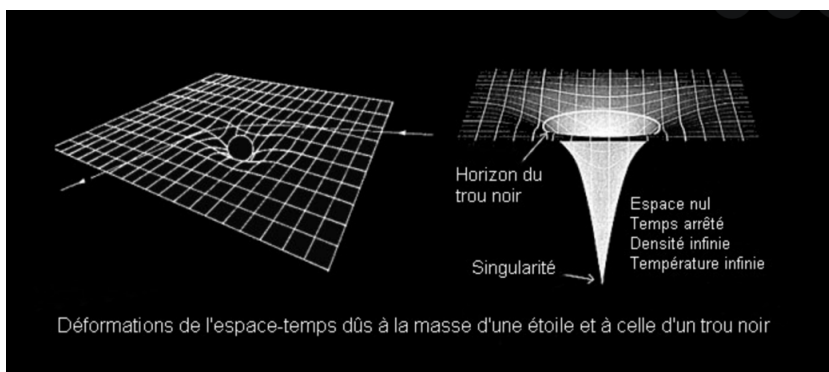
- Le temps s'arrête à la vitesse de la lumière.



- Le temps ralentit près des objets massifs, il y a une dilatation du temps.



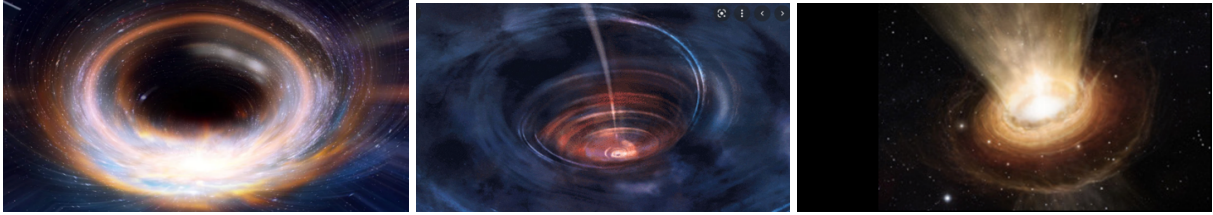
- Les trous noirs sont les objets les plus massifs de l'univers.



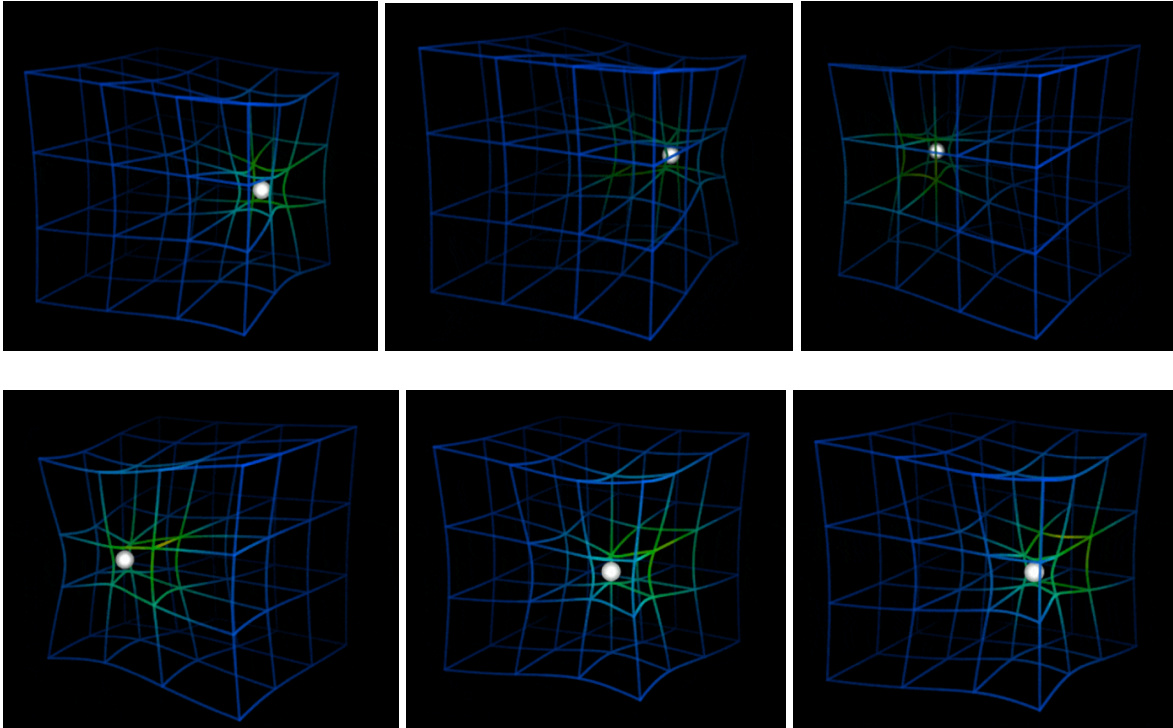
- Le temps s'arrête à l'horizon des événements d'un trou noir.



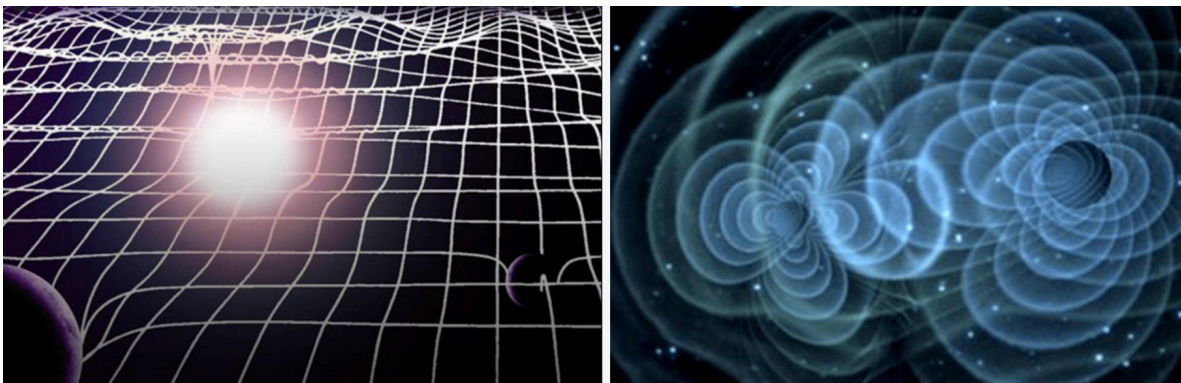
- Le temps n'existe plus au centre d'un trou noir.

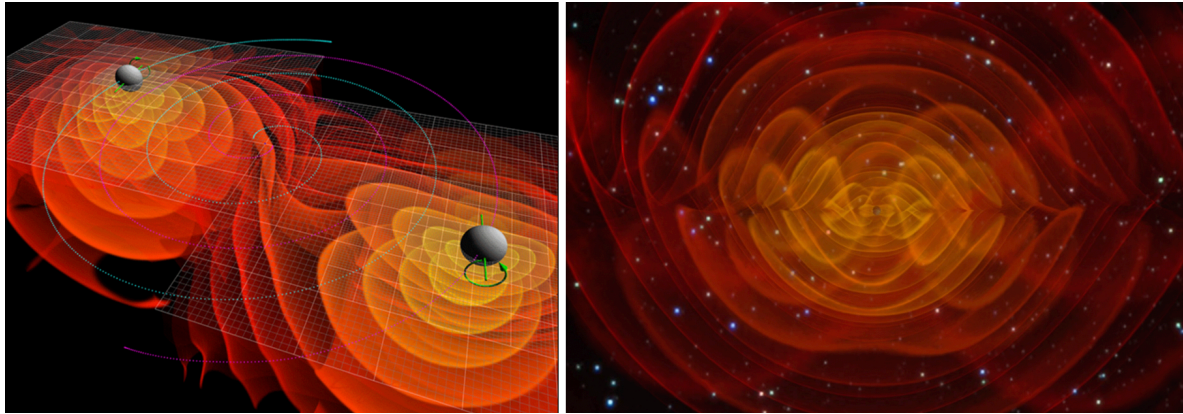


- La gravité courbe l'espace-temps.



- La gravité n'est pas une force mais « un milieu » qui se déplace sous forme d'ondes.





Tout cela semble parfaitement incongru, digne d'un mauvais film de science-fiction. Et pourtant avec les progrès scientifiques, petit à petit, la Relativité s'est confirmée, toute la physique actuelle repose sur elle.

Nous continuerons encore longtemps à imaginer que le temps est universel, que le passé s'est évanoui et que le futur doit encore s'accomplir. Mais, grâce à l'ensemble de ces découvertes astrophysiques, nous pouvons aussi regarder au-delà de notre expérience personnelle du temps et reconnaître que nous faisons partie d'une réalité certainement beaucoup plus riche et beaucoup plus complexe que ce que nous croyons.



« Placez votre main sur un poêle, une minute, et ça vous semble durer une heure. Asseyez-vous auprès d'une jolie fille, une heure, et ça vous semble durer une minute. C'est ça la relativité ! »
Albert Einstein