

# LA RELATIVITE GENERALE.

## 1. EINSTEIN A L'ASSAUT DE LA FORTERESSE DE NEWTON.

Les travaux de Newton sont géniaux, mais ils clochent sur quelques points.

### *Enigme 1: La notion de force.*

La théorie newtonienne implique que deux corps, la Lune et la Terre, par exemple, s'attirent sans aucun contact, sans aucune interaction matérielle et, de plus, instantanément. Instantanément ! Une horreur pour Einstein qui, en 1905, avait montré que rien ne peut être instantané. Pour cela, il faudrait une vitesse infinie, or, rien ne peut dépasser la vitesse de la lumière. Par ailleurs, quelle chose étrange et surprenante que cette force d'attraction qui ressemble tant à la main de Dieu ! Newton était d'ailleurs conscient de cette difficulté. Il l'introduisit tout de même sans pouvoir, reconnaissait-il, la justifier. Einstein voulait aller plus loin. Il lui fallait trouver une théorie qui se passerait de ce lapin sorti du chapeau de Newton.

### *Enigme 2: La chute des corps.*

Tous les corps lâchés simultanément, une plume, une pomme et un haltère arrivent en bas au même moment. L'expérience doit être réalisée dans le vide, pour que la résistance de l'air ne freine pas la plume. Sinon, ce n'est plus la gravitation que l'expérience testerait. Newton prenait en compte ce phénomène, mais sans fournir d'explication. Car enfin, qu'une très grosse quantité de matière réagisse comme une minuscule quantité, il y a de quoi s'étonner, non ? Pour Einstein, cet étonnement fut le signal d'alarme qui disait: la théorie de Newton n'est pas LA théorie ultime, il faut chercher au-delà.

## 2. GRAVITATION ET ACCELERATION ONT LES MEMES EFFETS.



Regardez le personnage ci-contre qui s'amuse avec une pomme. Il se tient debout dans une cabine d'ascenseur suspendue à un câble, dans une tour immense et transparente; la force d'attraction de la Terre l'attire vers le bas. Ce qui explique que ses pieds s'appuient fermement sur le plancher. Il a lâché la pomme: la Terre attire aussi le fruit qui tombe sur le plancher de l'ascenseur.

Panique à bord: le câble de l'ascenseur s'est détaché ! Le bonhomme est en chute libre, il a la sensation de flotter. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que tous les corps tombent avec la même accélération. Résultat, quand le personnage tombe, la pomme et l'ascenseur tombent avec lui. Ils l'accompagnent dans sa chute, ils restent au repos par rapport à lui, ils ne vont pas plus vite.

Entre eux et lui, il n'y a aucune force, aucune accélération, aucun mouvement: tout le contenu de la cabine est en "impesanteur". C'est exactement ce qui se passe dans un vaisseau qui tourne autour de la Terre à vitesse constante. Pourtant, dans l'ascenseur comme dans le vaisseau, l'attraction terrestre continue de jouer ! Alors, qu'est-ce qui fait qu'on ne la sente plus ? Précisément le fait que le personnage de l'ascenseur comme l'astronaute soient en train de tomber à la même vitesse; C'est l'accélération qui annule les effets de la gravitation.

A partir de cette expérience de pensée, Einstein énonce un des plus importants principes de la physique, le principe d'équivalence: en un endroit donné, tous les effets de la gravitation peuvent être compensés par ceux d'une accélération.

## 3. VERIFICATION.

Le personnage de l'ascenseur se trouve maintenant loin de toute planète dans un vaisseau spatial. Au début, le vaisseau n'accélère pas, tout ce qui s'y trouve est en impesanteur. Puis, progressivement, le vaisseau accélère à 10 m/s. Le bonhomme se retrouve alors dans la même situation que tout à l'heure: les pieds appuyés sur le sol. S'il lâche la pomme, elle tombe sur le plancher du vaisseau. Ici, pas question d'attraction terrestre puisque le vaisseau est loin de toute planète. Einstein explique les choses ainsi: c'est le vaisseau en accélération qui vient à la rencontre des pieds de l'astronaute qui, de ce fait, touchent le sol. Il vient aussi à la rencontre de la pomme si on la lâche. Le principe d'équivalence se confirme: gravitation et accélération ont les mêmes effets. Dans un ascenseur sans fenêtre, impossible de savoir si l'on est soumis à l'une ou l'autre.

Voici posé le grand mystère auquel Newton ne pouvait répondre: comment se fait-il que les effets de la gravitation et de l'accélération soient indiscernables ? D'où vient cette équivalence ? Est-ce un pur hasard ? Cette énigme intriguait Einstein au plus haut point et c'est pour la résoudre qu'il a construit la théorie de la relativité générale.



#### 4. QUAND LA LUMIERE NE FILE PAS DROIT.

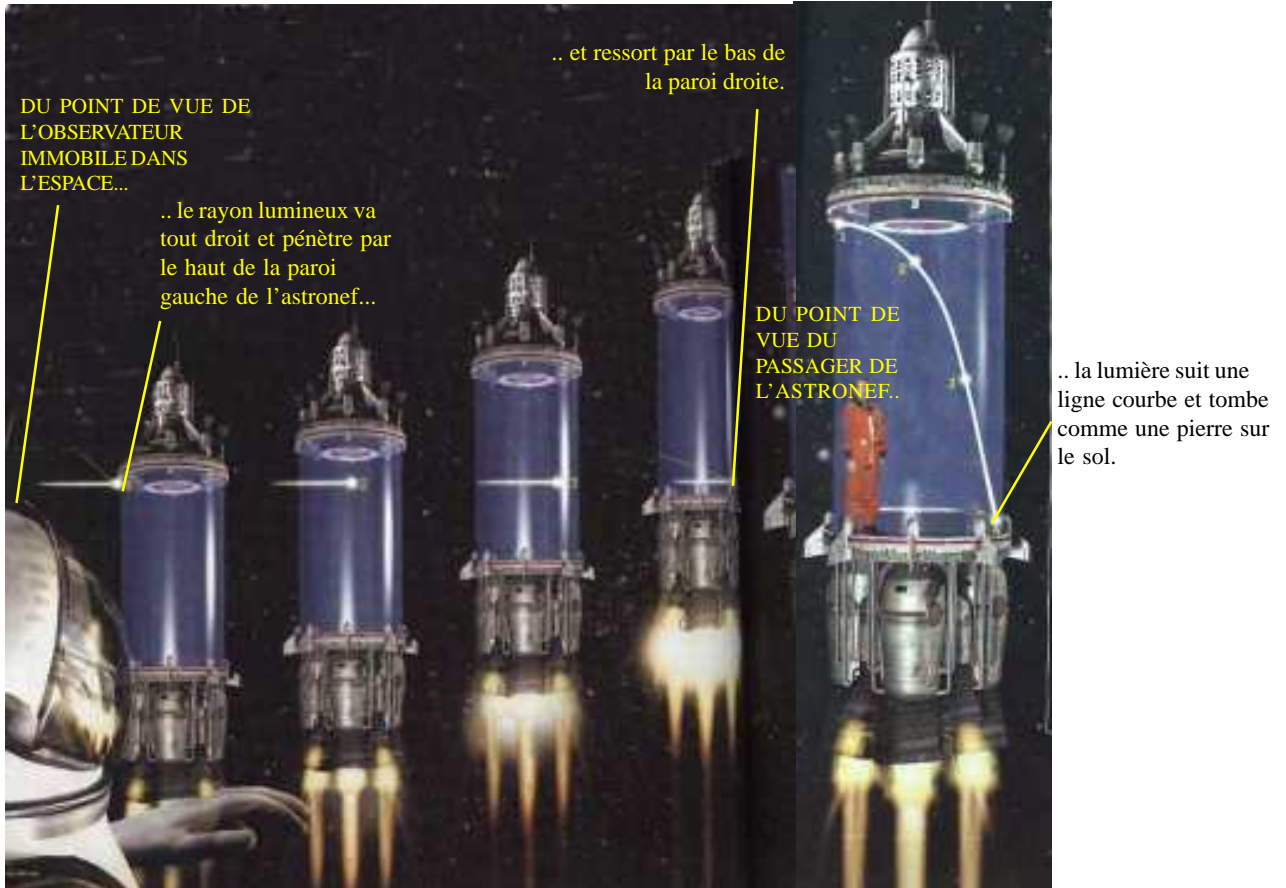
Procédons encore à une petite expérience de pensée. Nous sommes immobiles dans l'espace. Devant nous, un astronef transparent passe à une vitesse très élevée en accélérant constamment. Un rayon lumineux émis par une étoile lointaine arrive par la gauche. Il traverse le vaisseau de gauche à droite. Mais le vaisseau se déplace lui-même très vite et il faut au rayon de lumière un certain temps pour franchir la distance séparant les parois intérieures. Le rayon, qui va tout droit, pénètre par le haut de la paroi gauche mais ressort par le bas de la paroi de droite.

Voici maintenant le point de vue du passager de l'astronef en accélération. A ses yeux, la lumière subit une ligne courbe, formée par tous les points intermédiaires représentés dans le dessin précédent. Elle tombe littéralement vers le sol, comme une vulgaire pierre !! Encore plus étrange est l'interprétation qu'en donne Einstein. La lumière emprunte toujours le chemin le plus court pour aller d'un point de l'espace-temps à un autre. C'est vrai aussi à l'intérieur du vaisseau. Il faut alors admettre que la géométrie à l'intérieur du vaisseau a été déformée, courbée par l'accélération !! Cette géométrie est devenue courbe: la ligne droite n'y a plus cours.

Einstein en conclut:

- la lumière est influencée par la gravitation. Son trajet n'est pas rectiligne, il s'infléchit;
- cette courbure de la lumière n'est pas une simple curiosité. Elle nous révèle la géométrie même de l'espace-temps.

Aussi fou que cela puisse paraître, la gravitation modifie la géométrie de l'Univers !!



#### 5. UNE DEMONSTRATION DE LA THEORIE: LE SOLEIL DEVIE LA LUMIERE.

Dès 1919, les idées d'Einstein reçoivent une confirmation éclatante: le Soleil dévie la lumière qui le frôle. C'est l'astronome anglais Arthur Eddington qui mit sur pied une double expédition au Brésil et sur l'île de Principe, au large de l'Afrique. Voici ce qu'il observa. La lumière émise par une étoile nous arrive en général en ligne droite. Tout naturellement, nous en déduisons sa direction dans le ciel. Mais si le Soleil vient pointer ses rayons dans les apages, la lumière de l'étoile subit l'influence gravitationnelle de ce dernier. Autrement dit, elle "sente" la courbure engendrée par le Soleil. Résultat: elle doit être courbée et non pas rectiligne. Du coup, elle pointe dans une direction qui n'est plus vraiment celle de l'étoile, mais qui doit être légèrement décalée. Ainsi, lorsque le Soleil passe devant la direction de l'étoile, l'image de celle-ci se décale. Problème: l'effet est en général inobservable car la lumière du Soleil, beaucoup plus intense que celle de l'étoile, éblouit l'observateur et lui interdit toute mesure. A moins que la lumière du Soleil ne soit masquée, précisément ce qui se produit au cours d'une éclipse comme celle de 1919. Le résultat fut si proche des prédictions d'Einstein que la communauté scientifique pris vite fait et cause pour la nouvelle théorie.



## 5. L'ESPACE-TEMPS EST RELATIF.

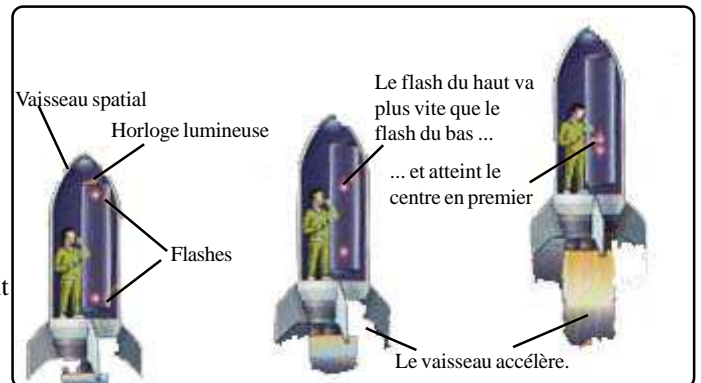
Pour Newton, l'espace dans lequel s'inscrit l'Univers ressemble à un croquis d'architecte. Il est comme quadrillé par un échafaudage de barres rigides se coupant à angles droits. Ces barres sont des repères invisibles. Grâce à elles, on peut mesurer les trois coordonnées nécessaires à la localisation d'un événement: largeur, hauteur, profondeur. De ce fait, un même objet aura des mesures identiques où qu'il se trouve dans l'Univers. Le temps est quand à lui, totalement indépendant de l'espace. Et tout se passe comme si une seule et même horloge donnait l'heure à tout l'Univers.



L'univers d'Einstein ne ressemble pas du tout à celui de Newton. Sa structure est révélée par les trajectoires de la lumière: elle est courbe. Les rayons lumineux ne s'y déplacent jamais en ligne droite. Toute chose y est repérée dans 4 dimensions indissociables: 3 d'espace et 1 de temps. Dans cet Univers courbe, on peut mesurer les objets. Mais il n'existe aucun étalon de mesure universel: transporté en des endroits différents, une règle aura des longueurs différentes! Pas de temps universel non plus: chaque lieu a son horloge qui indiquera son temps à lui !

A la différence de Newton, Einstein n'accepte pas que l'espace et le temps soient indépendants l'un de l'autre. au contraire, il les marie au point d'en faire un être composite, l'espace-temps. Impossible de toucher à l'un sans toucher à l'autre, explique-t-il. La vitesse illustre bien cette idée. LA vitesse, c'est de l'espace divisé par du temps. Augmenter la vitesse, c'est accélérer, c'est parcourir plus d'espace en un temps donné. Banal, direz-vous. Certes, mais l'idée inverse est-elle aussi banale: une accélération peut-elle freiner le temps ?

La réponse est oui, comme le prouve cette expérience de pensée. On installe dans un vaisseau spatial une horloge lumineuse synchronisée de telle sorte que les deux flashes arrivent au centre du vaisseau en même temps. Top chrono, les deux flashes sont émis en même temps. puis, un micro-instant plus tard, le vaisseau accélère à fond les manettes. O surprise, cette accélération perturbe la simultanéité: le flash supérieur va plus vite que le flash inférieur et atteint le centre le premier ! Un observateur extérieur dira que c'est logique: le plancher du vaisseau vient à la rencontre du flash supérieur tandis qu'il court derrière le flash inférieur. Le commandant de bord placé au centre du vaisseau en conclura, lui, que l'horloge inférieure est plus lente. Des expériences réalisées avec des horloges atomiques ont confirmée cette idée ahurissante. Une horloge placée au rez-de-chaussée d'une tour bat plus lentement que si elle se trouve au dernier étage !!

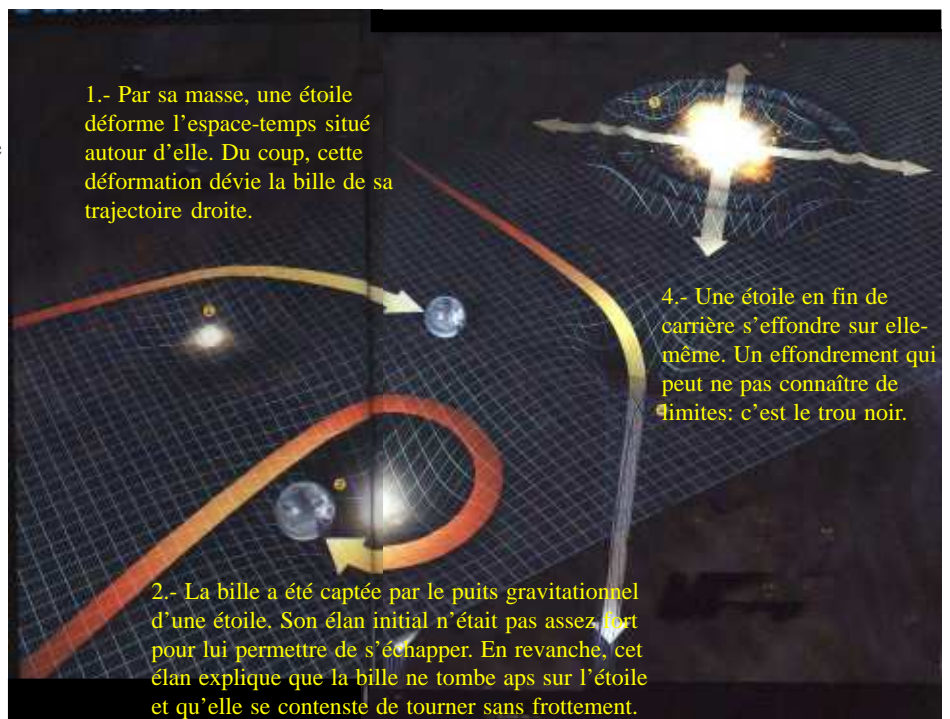


## 6. L'ESPACE-TEMPS COMME UNE TOILE ELASTIQUE.

Observons une bille qui décrit sur une surface une trajectoire circulaire. Pourquoi ne va-t-elle pas tout droit ? DEux explications différentes:

Selon la première, la bille est liée par une ficelle invisible qui la contraint à décrire un cercle autour du point d'attache. Tiré par les cheveux ? Pourtant c'est à peu près la vision de Newton.

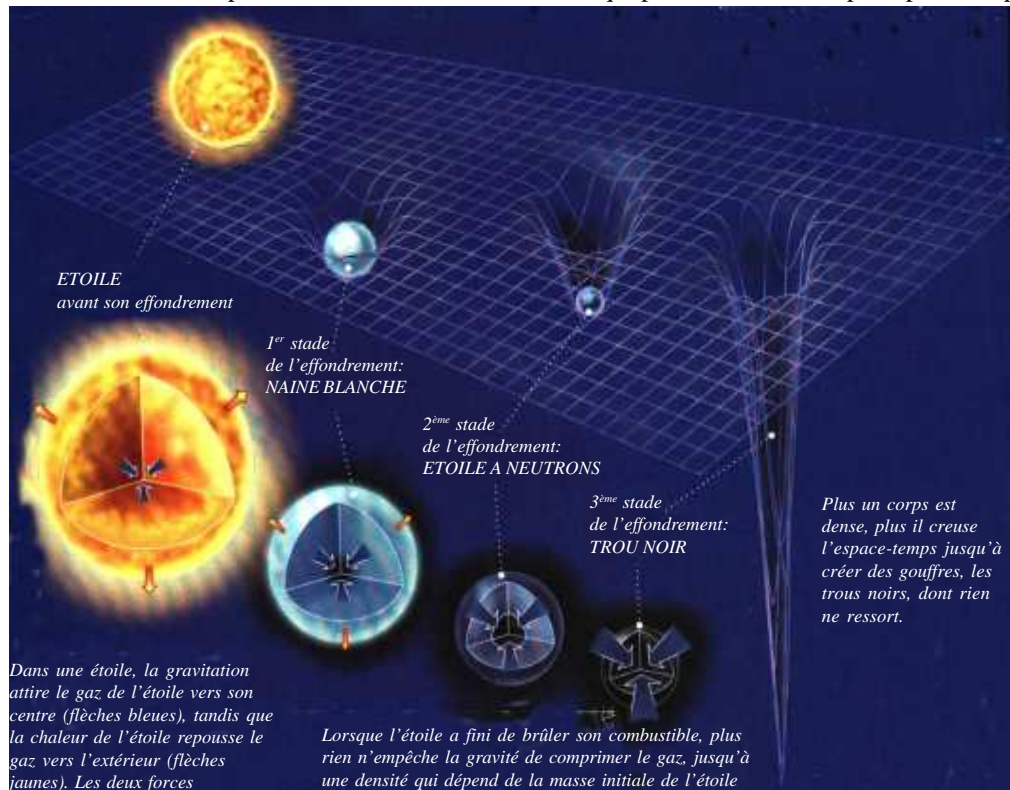
On peut imaginer plus naturel: il suffit que la surface soit légèrement incurvée, comme une assiette creuse. La bille n'a alors "pas le choix": elle ne peut que "suivre" cette courbure, qui détermine le caractère circulaire de sa trajectoire. Cette dernière ressemble à la relativité générale d'Einstein. Si les planètes, par exemple, décrivent des trajectoires courbes, c'est parce qu'elles se déplacent dans un espace-temps qui est courbe, et non pas parce qu'elles sont contraintes par des forces !! C'est cette courbure qui détermine le mouvement des corps.



D'où vient cette courbure de l'espace-temps ? De la masse des planètes, des étoiles et de tous les objets qui circulent dans l'Univers. Plus ces objets sont massifs, plus l'espace-temps autour d'eux est courbé, incurvé. Imaginons un drap tendu qui symbolise notre Univers à 2 dimensions au lieu de 4 (3 d'espace et 1 de temps). Si on y place une boule de pétanque, cette dernière va creuser le drap. Imaginons maintenant qu'on lance un cochonnet sur ce drap. En passant près de la boule, sa trajectoire sera déviée par la courbure du tissu, comme s'il subissait la fameuse attraction universelle. Selon sa vitesse et sa trajectoire, il pourra même se mettre à tourner autour de la boule d'acier, sans tomber sur elle, telle la Lune autour de la Terre. Maintenant, plaçons une bille très proche de la boule: elle va tomber inmanquablement sur elle, comme la boule de Galilée tombe sur la Terre !!!

Au passage, on peut remarquer que la vitesse de la chute de la bille ne dépend pas de sa masse, mais seulement du trou plus ou moins profond creusé par la boule. Ainsi des objets voisins suivent le même trajet, quelles que soient leur masse, leur taille ou leur forme. Ils "sentent" l'espace-temps de la même façon. La pomme et la plume de Galilée tombent à la même vitesse car elles sont toutes deux lancées sur les mêmes rails de l'espace-temps !!

Des objets peu massifs, comme la Terre, déforment très peu l'espace-temps. Dans ce cas, on n'a pas vraiment besoin de la théorie d'Einstein. Celle de Newton suffit pour, par exemple, calculer la trajectoire d'une fusée ou d'un satellite. Mais il y a dans l'UNivers des objets énormes ou super-denses, comme les trous noirs qui perturbent beaucoup l'espace-temps.



Lorsqu'une étoile meurt, elle se transforme en un véritable monstre galactique doté d'un pouvoir d'attraction inouï: naine blanche, une étoile à neutrons ou un trou noir.

Ces malabars de la gravitation ont tous un point commun: ce sont d'anciennes étoiles. Que leur est-il arrivé ? Un immense effondrement.... En effet, une étoile en pleine santé n'est qu'une grosse boule de gaz incandescente en équilibre. D'un côté, la chaleur et le rayonnement émis par son combustible éjectent le gaz hors de l'étoile. Tandis que la force de gravitation attire au contraire la matière vers le centre. Lorsque l'étoile a brûlé tout son combustible, plus rien ne s'oppose alors à l'effet de la gravitation. Elle s'effondre sur elle-même, creusant l'espace-temps au fur et à mesure que sa densité augmente. L'étoile devient un monstre. Naine blanche ? Etoile à neutrons ? Trou noir ? Tout dépend de la masse initiale...

- Pour des étoiles dont la masse est inférieure à 1,4 fois celle du Soleil, la contraction s'arrête lorsque le volume de l'étoile a été divisé par 1 million environ. L'étoile est devenue une naine blanche. L'équivalent d'un dé à coudre d'un tel astre pèse plus de 4 tonnes.
- Pour une masse comprise entre 1,4 et 3 fois celle du Soleil, l'étoile continue de se contracter jusqu'à ne plus mesurer que quelques dizaines de kilomètres de diamètre. La masse d'un dé à coudre d'étoile à neutrons est alors d'environ 1 milliard de tonnes !!
- Si la masse de l'étoile initiale est supérieure à 3 masses solaires, rien ne peut arrêter la gravitation qui comprime l'étoile à l'infini. Et la physique sèche lorsqu'il s'agit de décrire la matière dans cet état là. Les astrophysiciens donnent juste un nom éloquent à l'astre de tous les excès: trou noir. Sa densité est telle que quelques centimètres cubes de notre recordman absolu de la gravitation pèserait des centaines de milliards de tonnes !! Il creuse dans l'espace-temps un tel ravin que tout ce qui passe à proximité du trou noir est avalé sans espoir de retour. Absolument tout, même la lumière....

### **HUIT NOUVEAUX ANNEAUX D'EINSTEIN**

Huit anneaux d'Einstein ont été décelés par l'équipe de l'astrophysicien Adam Bolton de Harvard, avec la complicité du télescope spatial Hubble. Prédites par la relativité générale, ces illusions d'optique naissent de la déviation de la lumière des galaxies lointaines par la présence d'objets très massifs - comme des galaxies elliptiques - qui courbent l'espace sur la trajectoire des rayons jusqu'à la Terre. Un anneau lumineux complet apparaît uniquement lorsque la galaxie émettant la lumière et celle qui la dévie, appelée lentille gravitationnelle, sont bien alignées. Jusqu'ici seuls trois anneaux avaient été observés dans le domaine visible. Les lentilles gravitationnelles sont l'un des rares moyens de traquer la matière noire, constituant invisible de l'essentiel de la masse de l'Univers.

Sciences & Avenir Janvier 2006.

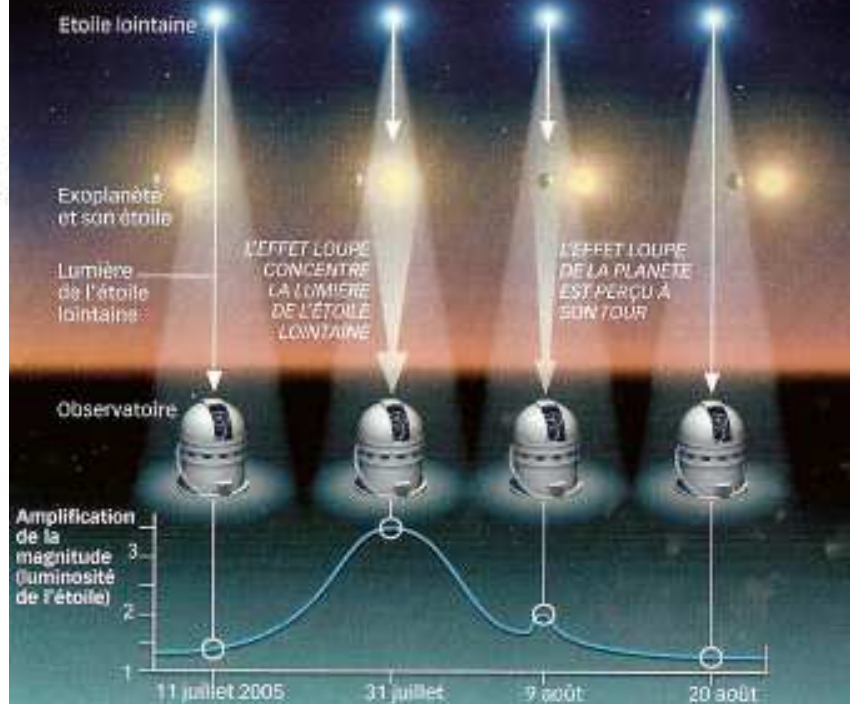
## QUAND LES ETOILES FONT LENTILLES

Ce sont des lentilles qui ont permis la découverte de la première sœur de la Terre. Des lentilles "gravitationnelles", imaginées pour la première fois par Albert Einstein voici quatre-vingt-dix ans... Selon la théorie de la relativité générale, l'espace est courbe, dynamique, il se déforme en présence de masses comme les planètes, les étoiles, les galaxies. Les "mirages gravitationnels", images de galaxies lointaines déformées par des amas de galaxies d'avant-plan, sont connus des astronomes depuis vingt-cinq ans. L'idée d'utiliser les étoiles comme "microlentilles" est beaucoup plus récente : lorsque deux étoiles sont alignées, celle qui est devant déforme l'espace et forme une lentille virtuelle, qui amplifie la lumière de celle qui se situe derrière. Les microlentilles sont de véritables télescopes naturels :

l'amplification lumineuse peut atteindre un facteur mille ! C'est cet effet qui est mis à profit par les astronomes pour rechercher des exoplanètes, car celles-ci sont si peu lumineuses, comparées à leurs étoiles, qu'il est impossible de les observer avec des télescopes classiques. Si une lentille (une étoile, donc) passe devant une autre, la courbe de lumière de l'étoile en arrière-plan croît et décroît selon les lois très précises de l'optique gravitationnelle. Si une seconde "lentille" (l'exoplanète) se trouve dans le même champ, cette courbe change de profil, une bosse lumineuse apparaît en surimpression. L'étude de la courbe lumineuse, le temps du transit de la lentille devant l'étoile, etc., permettent de reconstituer précisément les caractéristiques de la planète : masse, distance à son étoile et durée de son orbite.

### C'est par effet de loupe que l'exoplanète est repérée

Lorsque la planète et son étoile sont passées devant une étoile lointaine, leur masse a courbé l'espace, créant une lentille gravitationnelle. Cette "loupe" a amplifié la lumière de l'étoile lointaine. En la mesurant, les astronomes ont déterminé les positions, distances et masses de "l'étoile lentille" et de sa planète.



## **7. SELON EINSTEIN L'UNIVERS EST FIXE.**

Einstein met donc au point une série d'équations plutôt complexes qui décrivent les modifications de l'espace-temps sous l'effet de la matière et de l'énergie. Les équations décrivent aussi la trajectoire des objets dans cet espace-temps. Einstein les applique à des corps de notre système solaire et calcule leur orbite autour du Soleil. Avec succès.

En 1917 Einstein se risque à appliquer ces équations à l'Univers tout entier. et alors rien ne va plus. Car la conclusion est sans appel: la taille de l'Univers change avec le temps. Elle peut augmenter ou diminuer. Mais en aucun cas rester constante. Et ça met Einstein hors de lui. Car, à l'époque, aucun astronome n'a encore observé l'Univers "bouger". Alors, pour Einstein, cet Univers qui se ratatine ou qui se dilate, c'est tout simplement une absurdité.

Pour coller à ce qui lui semble être la réalité, Einstein se résout à une solution extrême. Il modifie ses équations. Il ajoute un terme, sorti de son chapeau et le baptise "constante cosmologique". Sa mission: rendre possible la description d'un univers immobile. Einstein transforme ses équations afin qu'elles donnent ce qui pour lui est le bon résultat !!!!

Le problème, c'est qu'à force de tripatouiller les équations, que devient la physique ??? Car cette constante cosmologique, elle doit bien traduire quelque chose de réel dans l'Univers, une force quelconque ... Mais Einstein n'a pas la moindre idée de ce à quoi cette constante correspond physiquement. L'important, c'est qu'en s'opposant à la gravitation, cette force mystérieuse maintiendrait l'Univers dans sa splendide immobilité. C'est un peu bancal. Car si la gravitation est archiconnue, aucune force chargée de la contrecarrer n'a jamais été observée. "On verra plus tard" semble penser Einstein. La constante cosmologique permet à ses équations de coller à l'observation, c'est tout ce qui compte.

## **8. ET POURTANT LES GALAXIES S'ENFUIENT**

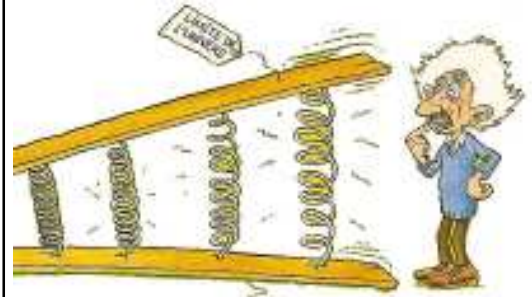
Nous savons maintenant (voir chapitre "Les spectres messagers des étoiles") que l'Univers est en expansion. En présentant son modèle de l'Univers en expansion, G Lemaître montre qu'Einstein a eu tort de ne pas croire les équations de la relativité générale. en effet un Univers qui enflait faisait partie des solutions possibles trouvées par Einstein. Mais Einstein avait refusé cette idée. Il s'est donc cassé la tête à ajuster sa constante cosmologique pour rien. La voilà devenue inutile, jetée aux poubelles de la science.

L'idée de Lemaître serait que l'Univers serait donc parti d'une tête d'épingle et depuis ne cesse de se dilater. D'abord très brutalement, puis à un rythme plus pépère. Car l'expansion est censée ralentir peu à peu sous l'effet de la gravitation. En effet, jusqu'à preuve du contraire, l'attraction gravitationnelle est la seule force à s'exercer sur de grandes distances dans l'Univers. Et cette force rapproche les corps. Au minimum, elle devrait donc au moins freiner l'expansion de l'Univers. Au maximum, elle inverserait carrément la tendance, provoquant au final un effondrement de l'Univers sur lui-même. Tout dépend, en fait, de la quantité de matière présente dans l'Univers. Plus la quantité de matière est importante, et plus l'Univers aura de chance de se recontracter fissa.

## **9. MAIS L'UNIVERS SE DILATE DE PLUS EN PLUS VITE.**

Mais en 1998, en multipliant les observations, des astronomes reconstituent l'évolution de l'Univers et observent que non seulement les galaxies s'éloignent de nous, preuve que l'Univers est en expansion, mais contrairement à ce que l'on pourrait penser, cette expansion n'est pas entrain de ralentir, mais au contraire qu'il y a 4 milliards d'années l'expansion de cet Univers aurait accéléré. Que s'est-il passé à cette époque ? A quoi ressemble ce courant qui dilate l'Univers de plus en plus vite ?

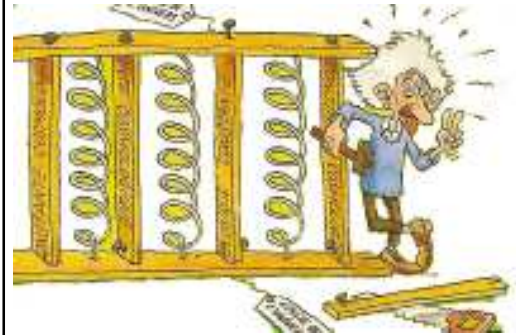
Einstein n'en croit pas ses calculs. Selon eux, l'Univers n'a que deux avenir possibles. Dans le premier cas, il grandit indéfiniment. Mais quelle force repousserait ses limites (ici les deux planches) ? La seule force agissant à grande distance est la gravitation. Or, elle est censée rapprocher la matière (comme le font les ressorts sur notre dessin), mais pas l'éloigner. A priori, ce futur est inconcevable ...



Dans le second cas, l'Univers rapetisse et finit par s'effondrer sur lui-même. Et pourquoi pas ? Après tout, la gravitation pourrait se charger du boulot. Les ressorts, qui la représentent, ont bien tendance à rapprocher les planches.



Oui, mais Einstein est persuadé que la taille de l'Univers n'évolue pas dans le temps. Car aucune observation astronomique ne va dans ce sens. Alors il imagine la constante cosmologique chargée de s'opposer à la gravitation. Et de maintenir l'Univers fixe, ici par des planches disposées en entretoise.



## 10. UN SUSPECT: LA GRAVITATION.



Après tout, ce qui ne va pas dans cette histoire, c'est la gravitation. Elle ne fait plus son boulot qui consiste à contenir l'expansion de l'UNNivers, en liant les corps entre eux. Et si, sur de grandes distances, la fameuse attraction gravitationnelle finissait par lâcher la rampe toute seule ? Cette possibilité est prise très au sérieux par une équipe de physiciens théoriciens franco-américaine.

Pour mieux comprendre il nous faut retourner dans le monde de la physique des particules. On se rappelle que dans un noyau, on trouve des protons et des neutrons. Une sous famille de ces particules est la famille des bosons. Les bosons sont des particules qui ne participent pas à la fabrication d'atomes. Ils sont porteurs d'interactions. Pour comprendre, imaginez que vous ayez besoin de joindre l'un de vos camarades. Vous avez plusieurs solutions: prendre le bus pour aller chez lui, lui téléphoner ou encore lui envoyer une lettre. Et bien la compagnie de transport de votre ville, les impulsions électriques transportant votre voix dans le fil du téléphone ou encore la facture sont des bosons. Ils vous permettent d'interagir avec votre camarade.



En physique, l'un des bosons les plus célèbres est le photon, qui porte sur ses épaules la lumière. Autre exemple: depuis des années, les physiciens sont à la recherche du graviton, le boson qui s'échangerait entre deux corps soumis à la force d'attraction gravitationnelle. L'attraction gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps peut être vue comme un échange de gravitons. Ainsi, on

pourrait imaginer que le Soleil et la Terre, en interaction gravitationnelle, échangent des gravitons. A faible distance tout va bien. Les gravitons voyageraient d'un astre à l'autre sans problème. Mais à grande distance, il y aurait des fuites. Exactement comme de l'eau coulant dans un tuyau percé, tous les gravitons ne se retrouveraient pas à l'arrivée. Or, l'intensité de l'attraction dépend de ces gravitons. Si certains manquent à l'appel, la gravitation se relâche.

Mais où les particules passent-elles donc ? Sur quoi débouchent les trous du tuyau ? C'est là que cela devient très sport ... Elles disparaîtraient ..... dans une cinquième dimension ! Eh oui, c'est un des séismes qui secouent actuellement la physique. En plus des quatre dimensions (trois espaces, une de temps) dans lesquelles nous évoluons, il existerait d'autres dimensions que nous n'avons pas encore explorées. Tout simplement parce qu'elles seraient trop petites, repliées sur elles-mêmes.

Ainsi l'une des plus fameuses formules de la physique serait susceptible de changer de forme. Il ne faudrait plus diviser le produit des masses par le carré de la distance les séparant, mais par le cube !!! Autrement dit, la gravitation "longue distance" s'affaiblirait bien plus vite que dans sa forme "courte distance". Au final, les chercheurs ont même démontré, grâce à des modèles mathématiques poussés, que non seulement la gravitation s'affaiblirait du fait de cette fuite de gravitons, mais qu'elle pourrait même changer de signe et devenir répulsive !!! Là, difficile de trouver une image pour comprendre. C'est vraiment de l'abstrait. Mais dans cette configuration, les chercheurs n'auraient plus besoin d'énergie sombre pour expliquer l'accélération de l'expansion de l'Univers. Elle serait toujours le fait de la gravitation, plus que jamais seule force à s'exercer à très grande distance dans le cosmos.

### UNE DIMENSION POUR L'HOMME, DEUX POUR LA FOURMI.



Des gravitons fuiraient dans une dimension cachée ! Ca ressemble à quoi, une dimension cachée ? Tout se passe un peu comme si vous deviez marcher sur une corde. Elle vous apparaîtrait comme un monde à une dimension, puisque vous n'auriez le choix d'avancer (ou de reculer) que dans une direction. Mais une petite fourmi la verrait comme un monde à deux dimensions car elle pourrait, vu sa taille, faire aussi le tour de la corde.

