

La relativité générale et restreinte

Cet article n'a pas pour but de faire un exposé très détaillé sur la relativité, en revanche il aspire à faire une présentation très générale de ce concept malheureusement parfois méconnu des scientifiques (et oui !). Nous allons donc étudier dans les plus gros points la relativité restreinte, sa version étendue la relativité générale et enfin voir rapidement les applications en cosmologie et astrophysique.

1. la relativité restreinte :

Je suppose que vous vous rappelez tous de vos cours de prépa, sur la physique newtonienne ? Et bien en fait, il s'agit d'un modèle comme un autre pour décrire le comportement des objets dans l'espace. Il a été le premier à expliquer pourquoi les objets tombaient sur terre, et pourquoi la lune ne nous était jamais tombée sur la tête... Mais vous savez bien que chaque modèle a ses faiblesses et n'approche que dans une certaine mesure les lois réelles de la Nature. Cependant la physique de Newton a été considérée très longtemps comme un modèle presque parfait, mais voilà ça n'a duré que 200 ans, jusqu'à ce que nos ancêtres se rendent compte qu'il y avait quelques excentricités dans l'orbite de mercure... Mais à ce moment là, alors que des expériences étaient en cours sur le comportement de la lumière dans cet espèce de milieu que les physiciens appelaient *éther*, une expérience réalisée avec un interféromètre de Michelson (comme quoi il ne sert pas à rien cet appareil !), vint chambouler la vision de la mécanique : la vitesse de la lumière semblait constante quelle que soit le référentiel...

Cet alors qu'un jeune physicien qui refusait d'apprendre ses cours à l'université parce qu'ils étaient portés sur des concepts anciens, et qui était considéré comme un cancre annonça la chose suivante :

« L'espace absolu n'existe pas, et le temps absolu non plus. Il y a une faille dans les fondations de la physique newtonienne. C'est pareil pour l'éther : il n'existe pas... ». Il s'agit de... Einstein bien sur !

Notre cancre proposa les fondations suivantes :

-Le principe du caractère absolu de la vitesse de la lumière : quelle que soit leur nature, l'espace et le temps doivent être constitué de manière à rendre la vitesse de la lumière identique dans toute les directions et absolument indépendante du mouvement de la personne qui la mesure.

-Le principe de la relativité : Quelle que soit leur nature, les lois de la physique doivent traiter tous les états de mouvement sur un pied d'égalité.

Bon, pour comprendre tout ceci, petit retour en prépa... Supposons que l'on soit dans un avion volant en ligne droite à accélération nulle à une vitesse de 1000 Km/h. Vous vous déplacez à la vitesse de 10 Km/h vers l'avant de l'avion. Quelle est votre vitesse par rapport au sol ? simple ? Oui, vous avez raison. Elle est de 1000+ 10 soit 1010 Km/h. Pas mal ! Bon, on recommence. On suppose que vous êtes assis dans ce même avion. Vous allumez une lampe torche en direction de l'avant. Quelle est la vitesse de la lumière par rapport au sol sachant que la vitesse de la lumière est de 300 000Km/s ? Simple ? Eh bien non ! Les lois de newton vous diraient que cette vitesse vaut 300 000Km/s + 1000Km/h (ou 0,28Km/s) = 300 000,28Km/s. C'est faux ! Attention n'allez tout de même pas voir vos profs de prépa en leur disant que ce ne sont que des charlots. Le modèle de Newton est très simple et est une très bonne approche de la réalité pour de faibles vitesses. Einstein prévoit que la vitesse de la lumière par rapport au sol est de 300 000Km/s. Elle ne change pas, par rapport au référentiel « avion ». Comme ça c'est difficile à comprendre car nous vivons dans un monde où

l'expérience nous montre des choses plus simples. Mais la seule chose à comprendre, est que le temps passe à des vitesses différentes selon les observateurs. De même, les longueurs peuvent se contracter ou se dilater en fonction du référentiel. On parle alors de temps et d'espace relatif. Revenons à notre exercice. Supposons maintenant que notre avion se déplace à la vitesse de la lumière. Le voyageur allume sa lampe torche. Que va-t-il se passer ? Pour le voyageur, les électrons vont toucher l'avant de l'avion. Mais pour un observateur terrestre la lumière n'arrivera jamais à l'avant de l'appareil car l'avion lui semblera infiniment long on parle alors de « dilatation des distances ». De même l'observateur regardera (avec des jumelles) la montre d'un voyageur, l'aiguille ne bougera pas, puisque la lumière semblera figée par rapport, à l'avion comme si le temps s'était arrêté. Faisons maintenant le raisonnement inverse : la lumière mettra un temps infiniment cours pour atteindre un objet placé au sol et celui si paraîtra raccourci on parle alors de « contraction des distances », et si le voyageur prend également des jumelles pour regarder la montre d'un observateur terrestre il verra l'aiguille bouger très vite.

Nous concluons sur le fait que la relativité restreinte a donné naissance à une formule bien connue des physiciens nucléaire $E=MC^2$, selon laquelle la masse est une forme d'énergie condensée. Elle stipule que l'énergie cinétique d'un objet augmente plus sa masse augmente (ce qui est pour l'instant très logique). Mais pour des vitesses proches de celle de la lumière, la masse devient presque infinie ! Ce qui explique pourquoi nous ne pouvons voyager à la vitesse de la lumière, c'est bien dommage !

2. La relativité générale :

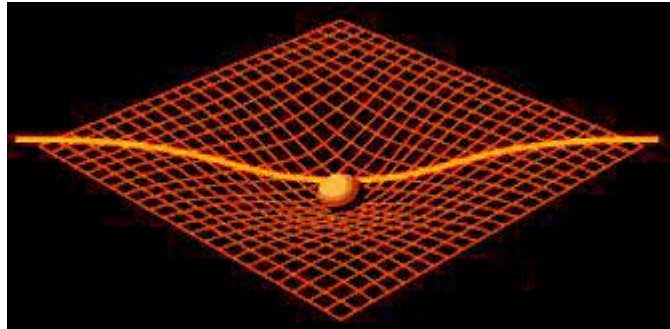
Bien, c'est ici que les choses commencent à se corser... Ce n'est qu'une dizaine d'années plus tard (en 1915), que la deuxième version de la théorie est publiée. Il a fallu pour ça que notre cher ami se mette à faire un peu de maths, chose qui n'a pas été si simple pour lui étant donné qu'il n'aimait guère ça. La théorie de la relativité restreinte avait un énorme point faible, elle ne pouvait s'appliquer qu'à des objets à vitesse constante ou nulle. La théorie de la relativité générale est en ce point beaucoup plus puissante vu qu'elle permet de déterminer avec précision le mouvement de tout corps soumis à une accélération et en particulier à celle due à la gravitation.

En fait, si l'on se place dans un référentiel soumis à aucune accélération, on remarquera que les rayons lumineux se propagent en ligne droite. Maintenant considérant un référentiel en chute libre (soumis à une accélération), on constatera que les mêmes rayons paraîtront courbés. Parce que tout ce qui se déplace à vitesse constante paraîtra avoir une trajectoire courbée, tout comme la trajectoire d'une balle lancée en l'air suivra une trajectoire courbe pour un observateur immobile(précisément une parabole). Or Einstein affirme par le *principe d'équivalence*, que tout corps soumis à une accélération peut être comparé à un corps soumis à la gravitation et vice versa. Autrement dit, gravitation et accélération sont identiques (je sais, pour nous newtoniens, tout ceci parait inhomogène).

Le principe d'équivalence impliquera des choses très importantes, notamment que passant près d'un objet massif, la trajectoire des rayons lumineux suivent une courbe (ce qui a pu être vérifié lors d'éclipse de soleil, où l'on pouvait observer des étoiles situées normalement juste derrière lui).

En fait, dans la théorie de la relativité, le temps est considéré comme une dimension que l'on rajoute au trois dimensions que nous connaissons déjà pour former ce que l'on appelle l'espace temps. Cet espace temps n'est pas figé : il est déformé par la masse. Pour comprendre le phénomène on peut se rapporter à un espace temps formé de deux dimensions spatiale. Prenons une toile de caoutchouc très souple (c'est l'espace), et plaçons une bille de plomb sur la toile. Cette dernière va se courber et d'autant plus que la bille est lourde. Si l'on

regarde l'ensemble on verra un espace à deux dimensions qui se courbe dans un espace où il en existe une troisième (dans notre exemple c'est la troisième de l'espace mais normalement c'est le temps).



Exemple d'espace à deux dimensions courbé par une masse

En regardant la figure ci-dessus on constate que les rayons lumineux empruntent les géodésiques d'espace temps et suivent alors une trajectoire courbe (géodésique= ligne droite dans l'espace ou l'espace temps. Sur terre, les parallèles sont des géodésiques, par exemple). On comprendra aisément que si l'on place un objet sur notre toile de caoutchouc, celui va tomber vers le « trou » pour se rapprocher de l'objet massif et ce, plus l'objet est lourd... De manière générale, on dira que toute particule suit les géodésiques de l'espace temps (toute ligne suivant la toile même si elle *paraît* courbe). On ne pourra représenter un espace-temps à trois dimensions d'espace plus une de temps, ni même se l'imaginer mais les phénomènes seraient identiques. C'est ainsi que l'on explique le principe des marées gravitationnelles, et des marées océaniques (les particules d'eau de mer ne font que suivre les géodésiques d'un espace-temps déformé par la Lune)

La relativité générale a une autre conséquence très importante : Plus on est proche d'un objet massif, plus le temps s'écoule lentement. La démonstration n'est pas simple, elle est basée sur l'effet Doppler et a un rapport avec l'énergie potentielle et cinétique, je ne la développerai pas ici, mais j'encourage tout ceux qui veulent en savoir plus à venir me voir pour que je leur fasse un petit schéma... Je vais par contre vous montrer qu'il n'existe pas d'étoile blanche et que ceci est une conséquence de la relativité : si une étoile blanche existait, les rayons qui en émaneraient seraient déviés et ramenés en son sein. On observerait alors un décalage vers le rouge dû à une perte d'énergie de l'onde (effet Doppler).

3. Les applications et découvertes dues à la relativité :

La relativité a permis de prédire un certain nombre de choses, des objets exotiques mais aussi à comprendre des phénomènes encore inexpliqués :

Le modèle de Newton n'était pas assez puissant pour expliquer le décalage de l'orbite de Mercure, mais le modèle d'Einstein peut l'expliquer en affirmant simplement que les planètes suivent des lignes droites (géodésiques) dans un espace temps déformé.

L'une des prévisions les plus importantes dans le domaine de l'astrophysique est celle des trous noirs. Pour ceux là, la masse est infiniment grande et la toile de caoutchouc si courbée que le trou, engendré par la bille, est infiniment profond. Cela signifie que la lumière tombe dans le trou sans jamais n'en sortir mais pire encore... Que le temps au voisinage d'un trou noir est complètement figé. Il y a bien sûr d'autres particularités comme celle que le

rayon de la sphère du trou noir est infiniment grand alors que de l'extérieur il paraît infiniment petit et qu'il ne détermine par sa circonférence.

Une des découvertes les plus amusantes est celle de trous de vers, qui sont des espèces de tunnels à particules qui s'ouvrent de temps en temps dans un espace-temps gondolé. Pour comprendre, revenons à notre schéma : imaginez qu'il puisse exister un tunnel permettant aux rayons lumineux de suivre une réelle ligne droite, ce serait un trou de vers. Ce phénomène pourrait se créer par la déformation soudaine de l'espace temps engendrant une soi-disant faille spatio-temporelle. Ils permettraient de se déplacer infiniment vite car nous ne suivrions pas les géodésiques et emprunterions un raccourci. Ces trous existent mais ils ne restent pas ouverts suffisamment longtemps et sont trop petits pour qu'une particule puisse s'y créer un chemin, c'est bien dommage... On pourrait presque imaginer le principe de la téléportation. Je tiens à préciser que ce moyen de transport pourrait bien être utilisé par les gravitons : ces particules à la base de la gravitation qui semblent se déplacer bien vite. Cependant l'existence de gravitons n'est encore que théorie...

La relativité explique également l'émission d'onde radio par certains objets (quasars, pulsars, trous noirs...) particulièrement lourds, ce phénomène est une fois de plus lié à l'effet Doppler.

On pourra donc dire que la relativité est un modèle extrêmement puissant dans le domaine de la cosmologie ou d'une manière générale, de l'infiniment grand. En revanche il possède encore de sérieuses failles puisqu'il est en désaccord avec le modèle de l'infiniment petit : la mécanique quantique. Nous n'avons plus qu'à croiser les doigts pour qu'un nouveau cancre vienne nous dire ce qui ne convient pas. A noter qu'une théorie en cours d'étude pourrait bien résoudre le problème : la théorie des cordes...

Bertrand POLLET