

La relativité en résumé

(extraits de Wikipédia)

Animation : qui tourne autour de l'autre ?

<http://hypo-ge-dip.etat-ge.ch/www/physic/simulations/astro/terrelunesoleil.html>

Un point de vue incomplet mais intéressant :

http://www.cndp.fr/magphilo/philo01/dos_phys.htm

Recherche d'un référentiel inertiel (extraits)

Exemple de référentiels

Le premier référentiel possible est celui du **laboratoire**, donc en principe lié au solide [Terre](#). L'expérience du [pendule de Foucault](#) a montré que la Terre n'était pas un référentiel inertiel, il est lui-même en rotation par rapport à un référentiel inertiel. Considérer le référentiel du laboratoire comme inertiel, cela veut dire que l'on néglige les effets des [forces d'inertie](#) induites par la rotation de la terre ([force de Coriolis](#), [force centrifuge](#)). C'est impossible en météorologie, en dynamique des océans ou pour lancer des [fusées](#), mais pour les sciences industrielles, cela suffit bien ; la précision des résultats étant généralement suffisante car l'espace concerné par le référentiel local est assez petit, que les forces (accélérations) développées par les mécanismes et la gravité sont grandes par rapport à celles qui sont dues à la rotation de la Terre.

Le deuxième possible est le référentiel **géocentrique**, d'origine le [centre de masse](#) T de la Terre et d'axes dirigés vers la sphère des fixes (qu'on va expliquer ci après). Dans ce cas, on néglige la [force de marée](#) du Soleil : évidemment impossible à négliger si l'on étudie la marée. De même la [Lune](#) agit (deux fois plus environ).

Le troisième possible est le référentiel **héliocentrique**, d'origine le [centre de masse](#) du [Soleil](#) et d'axes dirigés vers la sphère des fixes. Dans ce cas, on néglige les forces exercées par les autres planètes.

Le quatrième possible est le référentiel de [Copernic](#) ayant pour origine le barycentre du système solaire et des axes dirigés vers la sphère des fixes : dans ces conditions, il reste la marée due à l'étoile la plus proche. Plus

généralement, le Soleil « tombe » dans la [Voie lactée](#), en faisant une rotation d'accélération, a , de l'ordre de 10^{-12} $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et donc une marée différentielle de l'ordre de $a(1 \text{ UA}/100 \text{ années-lumière})$ tout à fait insignifiante. **On pourrait bien sûr prendre le centre de masse galactique comme origine, mais à quoi servirait un référentiel dont on ne saurait pas trouver l'origine expérimentalement ?** On se contente donc du Référentiel de Copernic pour tous les besoins spatiaux actuels.

Géocentrisme (extraits)

Newton avait calculé que dans un univers limité, quelle que soit la répartition initiale des étoiles, toute la matière finissait par se regrouper sous l'effet de la gravité. Il postula donc que l'univers était infini, rempli d'un nombre infini d'étoiles. Aujourd'hui, les cosmologues ont établi que l'univers est ou bien infini, ou bien refermé sur lui-même (l'équivalent tridimensionnel de la surface d'une sphère). **Prétendre que la Terre, ou même le Soleil, serait au centre de l'univers, perd tout son sens dans les deux cas (de même qu'aucun point à la surface de la Terre ne peut en être le centre).**

Une autre question est de savoir si la Terre se situe à un lieu particulier de l'univers, qui en feraient un point d'observation privilégié. Même sur un domaine tout à fait physique, cette question n'est pas encore tranchée, mais les astrophysiciens estiment plus prudent d'admettre que ce n'est pas le cas, et de chercher à expliquer la géométrie de l'univers en considérant qu'elle doit être la même depuis tout point d'observation. **La révolution copernicienne ayant retiré à la terre son statut de centre de l'univers, cette supposition a été appelée principe de Copernic.**

La relativité galiléenne rend caduque l'idée qu'un référentiel serait le référentiel absolu, par rapport auquel on peut définir les mouvements de tous les objets de l'univers. Newton lui-même supposait l'existence d'un tel référentiel, mais montrait que les lois de la physique s'appliquaient de même dans tout référentiel en translation par rapport à celui-ci, qui devint de fait inutile. ([Augustin Fresnel](#) introduisit un milieu inamovible, l'[éther](#), pour la propagation de la lumière, mais la [théorie de la relativité](#) supprima cet artefact). **Un référentiel ne peut donc pas être absolu.**

La **relativité générale** rend purement locale la notion de référentiel. Le problème de l'immobilité de la Terre n'est pas aboli pour autant : même avec la relativité générale, si on construit un système de coordonnées dans lequel la Terre est fixe, les objets qui ne sont soumis à aucune force non-gravitationnelle ne suivent pas des **géodésiques** (la relativité générale incluant la gravité dans la courbure de l'univers). Au contraire, la trajectoire de la Terre dans un système de coordonnées où le Soleil est fixe est très proche d'une géodésique. Si les opérateurs sont plus compliqués, il ne faut pas pour autant croire que la relativité mettrait sur un pied d'égalité le géocentrisme et l'héliocentrisme, ou tout système encore plus précis.

La **recherche d'un référentiel inertiel** a permis de conclure que le référentiel héliocentrique est une très bonne approximation d'un référentiel galiléen, mais que le référentiel choisissant comme point fixe le centre de masse du système solaire (légèrement différent du centre du soleil), ou **référentiel de Copernic** était encore meilleur. Mais le référentiel géocentrique reste suffisant pour une étude en première approximation du mouvement d'un satellite terrestre, et le référentiel terrestre suffit pour la plupart des expériences courantes.

En conséquence de toutes les considérations décrites ci-dessus, on doit conclure qu'il est impossible d'affirmer l'immobilité ou le caractère central d'un objet céleste quel qu'il soit.

Héliocentrisme (extraits)

Aujourd'hui, où il est admis qu'il n'y a **pas de centre absolu** de l'univers, il faut comprendre la définition d'un centre du système solaire comme le choix consensuel d'un **modèle considéré comme le plus pertinent pour un problème donné, car le plus simple à utiliser**. En effet, selon le principe de la **relativité**, les lois physiques ne dépendent pas du **référentiel** choisi, seule leur expression mathématique sera différente.

Le principe de relativité (extraits)

Dans son expression moderne, le **principe de relativité** affirme que les lois physiques sont les mêmes pour tous les observateurs. Cela ne signifie pas que les événements physiquement mesurables dans une expérience sont les mêmes pour les différents observateurs, mais que les mesures faites par les différents observateurs vérifient les mêmes équations. Toutefois, pour deux expériences préparées de manière identique dans deux référentiels distincts soumis aux mêmes contraintes gravitationnelles (tous les deux inertiels par exemple) les lois sont rigoureusement identiques et donnent des mesures identiques dans leurs référentiels respectifs. **On dit que les lois sont « invariantes par changement de référentiel »**, ou encore qu'elles sont « covariantes ».

Dans chaque théorie le principe est accompagné d'autres hypothèses sur l'espace et le temps, sur les vitesses, etc. Certaines de ces hypothèses étaient implicites ou « évidentes » en **physique classique**, car conformes à toutes les expériences, et elles sont devenues explicites et plus discutées à partir du moment où la **relativité restreinte** a été formulée.

Référentiel galiléen (extraits)

L'hypothèse de base sur l'espace vu par l'observateur, en physique classique et en relativité restreinte, est qu'il est assimilable à un **espace affine** à trois dimensions auquel est associé un temps utilisé pour **paramétrer** les mouvements des corps observés.

En **physique classique**, le temps uniforme est **newtonien**, sa caractéristique principale est d'être « absolu » : il est indépendant du référentiel de l'observateur. **En relativité restreinte, chaque référentiel est doté de son temps propre.**

Dans la pratique, un référentiel lié à des corps réels ne peut être qu'approximativement, localement et momentanément galiléen.

En **relativité générale**, toute **masse** et même toute **énergie** implique une **courbure** de l'**espace-temps** et donc une déviation des trajectoires possibles dans l'environnement de la masse : cet effet est la **gravitation**. Au voisinage d'aucune masse l'espace est homogène et isotrope, donc **il ne peut y avoir de véritable référentiel galiléen au sens où cela est compris en relativité restreinte ou en physique classique.**

La relativité restreinte (extraits)

La [relativité galiléenne](#) stipule, en langage moderne, que toute expérience faite dans un référentiel inertiel se déroulerait de manière parfaitement identique dans tout autre référentiel inertiel. Devenue « [principe de relativité](#) », son énoncé sera ensuite modifié par Einstein pour être étendu aux repères non-inertiels : de « restreinte » la relativité deviendra « [générale](#) ».

La relativité restreinte a eu également un impact en [philosophie en éliminant toute possibilité d'existence d'un temps et de durées absolues dans l'ensemble de l'univers](#). À la suite de [Henri Poincaré](#), elle a forcé les philosophes à se poser différemment la [question du temps et de l'espace](#).

La théorie d'Einstein concerne les [référentiels inertiels](#). Rappelons qu'un référentiel est dit *inertiel* s'il ne subit aucune accélération: une fusée dans l'espace loin de toute masse constitue un repère inertiel si aucun moteur n'est allumé. Les postulats de la relativité restreinte sont les suivants :

1. Les lois de la physique ont la même forme dans tous les [référentiels inertiels](#)
2. La [vitesse de la lumière](#) dans le vide a la même valeur dans tous les [référentiels inertiels](#)

Le premier postulat est le [principe de relativité](#) proprement dit, dans sa conception *restreinte* à la classe des référentiels inertiels. Il formalise un constat de [Galilée](#) selon lequel le mouvement rectiligne uniforme est « comme rien » pour l'observateur appartenant au référentiel mobile.

La relativité générale (extraits)

La [relativité générale](#) est une théorie [relativiste](#) de la [gravitation](#), c'est-à-dire qu'elle décrit l'influence sur le mouvement des astres de la présence de matière et, plus généralement d'énergie, en tenant compte des principes de la [relativité restreinte](#).

La relativité générale est basée sur des concepts radicalement différents de ceux de la gravitation newtonienne. Elle stipule notamment que la [gravitation n'est pas une force, mais est la manifestation de la courbure de l'espace \(en fait de l'espace-temps\), courbure elle-même produite par la distribution de matière](#). Cette théorie relativiste de la gravitation donne lieu à des effets absents de la théorie newtonienne mais vérifiés, comme l'[expansion de l'univers](#), ou potentiellement vérifiables, comme les [ondes gravitationnelles](#) et les [trous noirs](#).

La théorie de la [gravitation universelle](#) proposée par [Newton](#) à la fin du [XVIIe siècle](#) se base sur la notion de [force](#) de gravitation agissant selon le [principe](#) d'action à distance, c'est-à-dire [le fait que la force exercée par un corps \(par exemple le Soleil\) sur un autre \(la Terre\) est déterminée par leur position relative à un instant donné, et ce quelle que soit la distance les séparant. Ce caractère instantané est incompatible avec l'idée de la relativité restreinte proposée par Einstein en 1905](#). En effet, selon cette dernière, aucune information ne peut se propager plus vite que la [vitesse de la lumière](#) dans le vide. Par ailleurs, le principe de l'action à distance repose sur celui de la [simultanéité](#) de deux événements : la force que le [Soleil](#) exerce sur la [Terre](#) à un instant donné est déterminée par leurs propriétés « *à cet instant* ». [La relativité restreinte stipule que le concept de simultanéité de deux événements n'est pas défini](#), la notion de simultanéité différant d'un observateur à un autre pour peu que ceux-ci soient animés d'une vitesse relative non nulle. Ces contradictions amènent Einstein dès 1907 à réfléchir à une théorie de la gravitation qui soit compatible avec la relativité restreinte. Le résultat de sa quête est la théorie de la relativité générale