

« Paradoxe des jumeaux » et nature de l'Univers

Résumé : après un rappel concernant le paradoxe des jumeaux, on va considérer une expérience de pensée très simple, proche de celle imaginée par Einstein, qui nous permettra de conclure que l'Univers n'est pas un objet physique.

On verra d'abord que le fameux demi-tour, invoqué comme étant à la base de la solution du « paradoxe des jumeaux », ne joue en fait aucun rôle dans cette explication.

On verra ensuite que, bien qu'elle n'apparaisse pas dans les formules, il faut tenir compte de la masse des horloges pour expliquer le fameux « paradoxe ».

On verra alors que le fait de supposer l'existence d'un phénomène physique qui pourrait expliquer le retard des horloges en mouvement, conduit à une contradiction.

On conclura finalement que l'Univers n'est pas physique.

Rappel concernant le fameux « paradoxe des jumeaux » : deux jumeaux se trouvent au même endroit à la surface de la Terre, et chacun d'eux possède une horloge qui est synchrone avec celle de l'autre jumeau. L'un des jumeaux part faire un tour en fusée et revient à son point de départ sur Terre : son horloge retarde maintenant par rapport à celle du jumeau resté sur Terre.

On attribue généralement ce résultat au demi-tour, qui brise la symétrie apparente de la situation.

Mais considérons maintenant le cas des muons qui traversent l'atmosphère jusqu'à la surface de la Terre : leur durée de vie est normalement trop faible pour qu'ils atteignent la surface de la planète. Mais ces muons voyagent à très grande vitesse, et on attribue à l'effet relativiste observé dans le paradoxe des jumeaux l'allongement de leur durée de vie du point de vue de la Terre. Pourtant, ces muons ne font pas demi-tour : on doit donc admettre que le demi-tour n'est pas ce qui explique le « paradoxe des jumeaux », ou : **le demi-tour ne joue en fait aucun rôle dans le « paradoxe des jumeaux »**.

Précisions sur le « paradoxe des jumeaux » :

On considère deux horloges synchrones et de même fabrication (en particulier elles ont la même masse) ; on considère qu'elles se trouvent au même point au début de l'expérience, et qu'elles sont reliées par un ressort. Les horloges A et B vont être éjectées en sens opposé par le ressort, comprimé au début de l'expérience.

On considère que ces deux horloges se situent à l'écart de tout phénomène physique susceptible de modifier leur fonctionnement.

Lorsque le ressort se détend, les horloges, étant de même masse, sont éjectées à la même vitesse, mais en sens opposé. Tout se passant de manière symétrique, ces horloges seront toujours synchrones quand elles reviendront à leur position initiale.

On considère maintenant deux objets de masses différentes, sur lesquels on fixe les horloges dont on vient de parler : on a donc deux corps de masses respectives M et m qui sont reliés comme précédemment par un ressort, comprimé au début de l'expérience.

Si on choisit M suffisamment grande, avec $M \gg m$, quand le ressort se détendra, la masse M ne subira en pratique aucune accélération, et donc aucun changement de son vecteur vitesse, et ceci quel que soit le repère galiléen choisi. Or, si la vitesse ne change pas, on ne peut pas observer de retard dû au phénomène physique en action dans le « paradoxe des jumeaux », car la formule qui donne le retard de l'horloge ne dépend que de la vitesse ; l'horloge associée à la masse M n'aura

donc aucune raison de voir sa marche modifiée : on considérera donc que cette horloge fonctionne au même rythme durant toute l'expérience. En revanche, la masse m sera éjectée à une vitesse v qui pourra être très grande, et son horloge associée retardera donc par rapport à celle associée à la masse M , lorsque le ressort sera détendu au maximum (ceci en vertu du mémoire d'Einstein lui-même, dont je cite ici l'extrait concerné :

« Supposons qu'en deux points A et B de K, lorsqu'observées depuis le système stationnaire, se trouvent deux horloges synchronisées. Supposons que l'horloge A est mise en mouvement à la vitesse v sur une ligne qui rejoint B, alors lorsqu'elle arrive en B, les deux ne seront plus synchronisées, mais l'horloge qui s'est déplacée de A en B aura un retard sur l'horloge toujours demeurée en B de la quantité $1/2(tv^2)/V^2$ secondes (en négligeant les approximations du quatrième ordre et supérieurs), où t est le temps pris pour accomplir le déplacement de A à B »).

On voit donc que c'est parce que $M \gg m$ que l'horloge B va retarder par rapport à l'horloge A.

En résumé :

si A et B sont de même masse, elles sont toujours synchrones l'une avec l'autre quand elles reviennent à leur position initiale.

Mais si $M \gg m$, B retarde par rapport à A et non pas l'inverse (car l'horloge A fonctionne au même rythme pendant toute l'expérience), ce qui donne une explication du « paradoxe des jumeaux » : lorsqu'une fusée décolle depuis la Terre, la masse très importante de la Terre, comparée à celle de la fusée, fait que c'est l'horloge de la fusée qui va retarder par rapport à l'horloge restée fixe sur Terre (Tout ceci dans la mesure où on peut considérer que la situation d'une fusée qui décolle de la Terre, s'apparente à celle d'un objet éjecté par un ressort).

Maintenant que l'on sait que le demi-tour ne joue aucun rôle dans le « paradoxe des jumeaux », on va considérer une expérience de pensée similaire à celle d'origine :

Soient K et K' deux référentiels galiléens, d'origines respectives O et O', O étant fixe sur Terre : au début de l'expérience on fait coïncider K et K' : O et O' sont alors confondus. O' va alors se déplacer suivant l'axe des x (x croissants) de K à la vitesse V ; au même moment, une fusée A va décoller depuis O' et se déplacer dans le même sens que O' et toujours suivant l'axe des x de K, à la vitesse v mesurée dans K', le repère en mouvement du point de vue de K.



On suppose maintenant qu'il existe un phénomène physique qui soit la cause du retard des horloges dans le « paradoxe des jumeaux » :

- dans le repère K' (en mouvement par rapport à K) : le retard de l'horloge de la fusée A par rapport à celle restée en O' ne dépend pas de V, mais seulement de v (ce retard est donné par la formule : $\sqrt{(1-v^2/c^2)} \cdot t$ où t est le temps mesuré dans K' et c la vitesse de la lumière dans le vide) : tout se passe donc comme si V était nul, et qu'on pouvait considérer que O' est immobile dans K.

- dans le repère K (« immobile ») : le même phénomène physique que ci-dessus agit aussi dans ce repère, et ne dépend que de la vitesse des horloges.

L'observateur situé en A peut dire : « mon horloge est en train de se déplacer dans K, à la vitesse : $(V+v)/(1+Vv/c^2)$ par rapport à O, et elle subit donc un effet de la part du phénomène physique responsable du retard des horloges, phénomène actif dans K » ; l'horloge de A subit donc deux actions différentes, l'une parce qu'elle se déplace dans K' et l'autre parce qu'elle se déplace dans K, et le retard qu'elle affiche par rapport à l'horloge restée en O', doit donc être donné par une fonction de v ET à la fois de V, car cette dernière vitesse est impliquée dans l'un des deux phénomènes qui agissent sur l'horloge de A ; le retard affiché par l'horloge de A doit donc en particulier être une fonction de V.

Or, on a vu juste avant que ce retard ne devait pas dépendre de V, on a donc une contradiction, qui vient directement du fait qu'on a supposé qu'il existait un phénomène physique responsable du retard des horloges en mouvement : **Conclusion**, un tel phénomène physique n'existe pas.

NB : si on voulait dire : « peut-être que l'action du phénomène physique hypothétique est compensée par une autre action, et que, finalement, le retard de l'horloge de A par rapport à celle de O' ne dépend pas de V » : mais cela est impossible, car l'horloge de la fusée A ne retarderait alors pas par rapport à celle restée en O.

Bref, on peut conclure que : **Il n'existe aucun phénomène physique qui soit responsable du retard des horloges en mouvement dans un référentiel donné.**

Objection possible (mais vite écartée) :

Rappel : Einstein avait imaginé une expérience de pensée où il considérerait un miroir placé au bout d'une tige rigide de longueur l, et se déplaçant à la vitesse v dans un référentiel galiléen K :

on pourrait faire la même chose dans ce qui précède, et dire :

si un rayon lumineux part de la fusée A en direction du point O, on va pouvoir conclure d'après ce qu'Einstein disait, que l'horloge de O devrait retarder par rapport à celle de A, et on aurait donc : les horloges de A et O doivent retarder l'une par rapport à l'autre, et notre raisonnement précédent serait invalidé...

MAIS : revenons un instant à l'expérience où deux horloges de même masse partent d'un même point, en sens opposé et à la même vitesse v (elles sont éjectées par un ressort) ; alors on pourrait dire : chaque horloge se déplace par rapport à l'autre à la vitesse $v' = 2v/(1+v^2/c^2)$, ce qui conduirait à dire (avec la méthode du rayon lumineux) que chacune de ces horloges doit retarder par rapport à l'autre de $\sqrt{1-v'^2/c^2}.t$, où t est le temps mesuré par l'horloge d'où est parti le rayon lumineux, quand celui-ci atteint l'autre horloge. Or, on sait que ce raisonnement est faux, les horloges vont en fait rester synchrones.

On doit donc en déduire que la méthode du rayon lumineux peut être trompeuse, et cela vient du fait que dans ce raisonnement on considère que l'horloge d'où part le rayon lumineux est immobile, et que c'est l'autre qui est en mouvement à la vitesse v' par rapport à elle.

Comme on l'a vu précédemment (horloges de masses différentes éjectées par un ressort), l'horloge en O doit être considérée comme immobile, et c'est celle en O' qui est en mouvement : utiliser le raisonnement du rayon lumineux à partir de la fusée A serait donc une erreur, et c'est bien l'horloge de A qui doit retarder par rapport à celle restée en O.

D'où : on conserve donc notre conclusion, à savoir :

le fait de supposer l'existence d'un phénomène physique qui rendrait compte du retard des horloges, conduit à une contradiction : **En conclusion : il n'existe aucun phénomène physique qui puisse expliquer le retard des horloges dans le cadre du « paradoxe des jumeaux »**).

Maintenant :

Si l'Univers est physique :

le retard d'une horloge en mouvement est alors un phénomène physique, et on a vu qu'il n'existait aucun phénomène physique qui puisse expliquer ce retard : autrement dit, si l'Univers est physique, il n'existe aucune explication au retard de cette horloge, car dans un univers physique, on ne peut espérer qu'une explication physique à un phénomène physique quelconque.

L'idée qu'il puisse exister un phénomène physique (le retard des horloges) qui n'aurait aucune explication, étant inacceptable (les horloges retarderaient apparemment sans raison), et ce résultat provenant de l'hypothèse que l'Univers serait physique, on peut donc conclure :

l'Univers n'est pas un système physique, ou : la nature ultime de l'Univers n'est pas d'ordre physique.

(L'Univers considéré comme système physique est incomplet en ce sens qu'on ne peut pas, dans ce cadre, rendre compte d'au moins un phénomène physique : à savoir, le retard des horloges ne peut pas s'expliquer par un phénomène physique).

Si aucun phénomène physique ne peut expliquer le retard des horloges, pourquoi les horloges retardent-elles ?

On reprend alors la conclusion « lorsqu'une fusée décolle depuis la Terre, la masse très importante de la Terre, comparée à celle de la fusée, fait que c'est l'horloge de la fusée qui va retarder par rapport à l'horloge restée fixe sur Terre », et on doit alors conclure que les horloges retardent tout simplement parce que c'est logique, l'Univers doit avant tout être vu comme un système logique.