Henri-François Defontaines Le 16 octobre 2009

L'éther et la théorie de la relativité restreinte :

Univers absolu ou relatif ?
Imaginaire ou réalité ?

« Ether : PHYS. Anc. Fluide hypothétique, impondérable, élastique dans lequel les ondes lumineuses étaient censées se propager. »

Petit Larousse 2001

« En effet, si l'éther existait :

- *Ou bien il serait indépendant de la matière et, dans ce cas, il constituerait un référentiel fixe, absolu : la relativité serait inutile et l'on devrait observer une variation de la vitesse de la lumière selon la direction (en raison de notre propre déplacement dans l'espace, par rapport à l'éther) ;*
- *Ou bien il serait au moins partiellement dépendant de la matière (de sorte que la matière entraînerait l'éther dans son mouvement) et, on devrait là encore observer des phénomènes optiques (comparables à ceux qu'on observe dans une eau tourbillonnante), phénomènes en fait absents.»*

L'éther s'efface devant la théorie de la Relativité Restreinte. Wikipédia 2009

« Si la lumière était une onde se propageant dans un matériau élastique appelé « éther », sa vitesse semblerait plus élevée au passager d'un vaisseau spatial se déplaçant vers elle, et plus basse à bord d'un vaisseau spatial voyageant dans la même direction. On n'a constaté aucune différence entre les vitesses de propagation de rayons lumineux émis dans la direction de l'orbite terrestre et à angle droit de celle-ci. »

L'univers dans une coquille de noix. Stephen Hawking 2005

« Une réflexion plus attentive nous apprend pourtant que cette négation de l'éther n'est pas nécessairement exigée par le principe de la relativité restreinte. On peut admettre l'existence de l'éther, mais il faut alors renoncer à lui attribuer un état de mouvement déterminé… »

L'éther et la théorie de la Relativité Générale. Albert Einstein Université de Leyde le 5 mai 1920

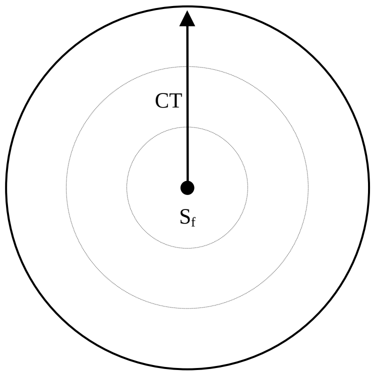
On voit dans ce qui précède, qu'en ce début du 21ème siècle, la possibilité d'existence d'une forme d'éther, support permettant la propagation des ondes lumineuses à vitesse constante est largement niée par les physiciens. Ont-ils raisons malgré le revirement tardif d'Einstein après mures réflexions, ou cela provient-il d'une incompréhension des phénomènes mis en jeux ? C'est ce que nous allons tenter de découvrir en décrivant ce qui se passerait si la lumière se déplaçait dans un éther fixe, au repos absolu. Ceci nous permettra de voir si cela engendre une contradiction avec les phénomènes observés comme l'énonce Wikipédia et Stephen Hawking, ou si au contraire cela permet d'élaborer un modèle cohérent compatible avec l'observation comme le pensait Albert Einstein ?

Nous allons débuter notre étude à partir d'une équation tirée des travaux de Maxwell :

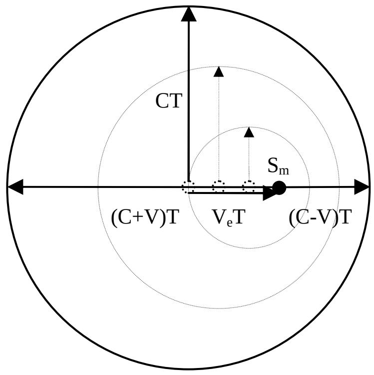
$$\boxed{C^2 \varepsilon_0 \mu_0 = 1}$$

L'interprétation qu'on en donnait du temps de Maxwell était que dans l'éther, son milieu de propagation de conductibilité ε_0 et de permittivité μ_0, au repos absolu ; la lumière se déplace à la vitesse C quelle que soit la vitesse de la source émettrice.

La lumière étant assimilable à une onde, voici ce que l'on observe.



Source S_f à l'arrêt



Source S_m animée d'une vitesse V_e

Un espace dans lequel les objets se déplacent à l'intérieur de sphères de temps, éventuellement matérialisées par la lumière, dont le rayon croit à la vitesse C = 300 000 Km/s.

Si la lumière se déplace à la vitesse C par rapport à l'éther quelle que soit la vitesse V_e de la source émettrice, alors, comme le pense Stephen Hawking et Wikipédia, un observateur devrait voir la lumière se déplacer à la vitesse C + V_e lorsqu'il se rapproche de la source lumineuse, et à la vitesse C – V_e lorsqu'il s'en éloigne.

Pourtant, tous les observateurs la voient se déplacer à la vitesse C quelle que soit leurs vitesses respectives.

Comment expliquer ce paradoxe?

Ce qui précède nous enseigne que si on construit un appareil constitué d'une règle graduée, à laquelle on fixe à une extrémité une source lumineuse et une horloge, et à l'autre un miroir et une horloge. Le temps de parcours T de la lumière le long de la règle X, mesuré par les horloges des extrémités est le même quelle que soit la vitesse de l'appareil, et quelle que soit son orientation par rapport au déplacement.

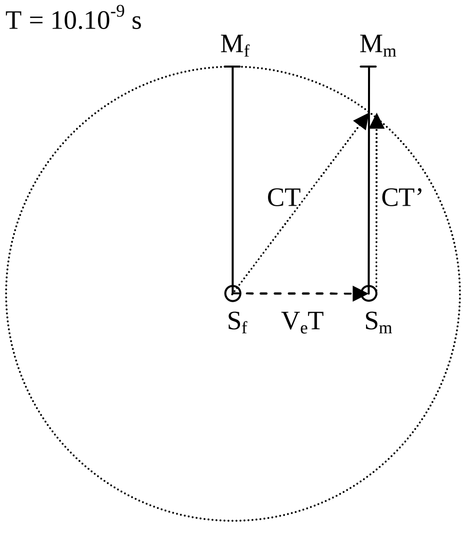
On a $\boxed{X = CT}$

Pour essayer de comprendre ce que cela signifie, nous allons dessiner le déplacement de la lumière le long de règles dans différentes configurations afin de déterminer les équations permettant de le décrire.

Dans tout ce qui va suivre, nous appellerons R le référentiel fixe, l'éther au repos absolu, et R' le référentiel se déplaçant à la vitesse V_e par rapport à R; X et T les valeurs de position et de temps mesurées dans R ; X' et T' celles mesurées dans R'. On notera M_f et S_f le miroir et la source lumineuse fixe dans R ; M_m et S_m ceux fixe dans R'.

Nous prendrons des règles de 3 m et V_e = 180 000 Km/s pour les schémas et les annotations numériques.

$T = 10.10^{-9}$ s



Au temps T = T' = 0, les sources S_f et S_m sont confondues, un signal lumineux est émis dans toutes les directions.

Au temps $T = 10.10^{-9}$s, le signal a parcouru la totalité de la règle fixe de R, soit 3 m et 4/5 de la règle mobile de R', soit 2,4 m.

La vitesse de la lumière étant la même dans R et dans R', cela signifie que c'est le temps qui varie en fonction du référentiel.

L'horloge située dans R' à 2,4 m le long de la règle mobile indique $T' = 8.10^{-9}$s lorsqu'elle est atteinte par la lumière à la vitesse de 300 000 Km/s.

Le temps du référentiel en mouvement est donc dilaté par rapport au temps du référentiel de l'éther.

Pour obtenir cette dilatation, il suffit d'appliquer le théorème de Pythagore au triangle formé par V_eT, CT' et CT.

en posant : $\gamma = [1 - (V_e/C)^2]^{-1/2}$

On obtient : $\boxed{T' = \gamma^{-1} T \qquad \text{l'équation du temps propre}}$

γ est appelé facteur de contraction relativiste.

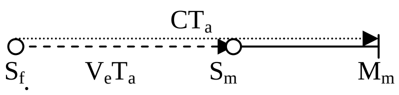
La dilatation du temps provient d'une modification de l'orientation de CT en fonction de V_eT. Elle correspond à une rotation de CT autour de S_f allant de la verticale pour $V_e = 0$ et T'=T, c'est-à-dire une dilatation nulle, à l'horizontale lorsque V_e tend vers C et T' tend vers 0, c'est-à-dire une dilatation infinie.

C'est donc une rotation, autour de la source fixe S_f, de la direction de propagation de la lumière dans l'espace qui engendre le phénomène de dilatation du temps dans R' en diminuant les longueurs parcourues par la lumière à la vitesse C dans le référentiel en mouvement, en un temps donné dans R.

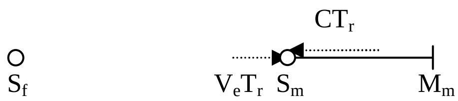
Le temps donné par une horloge lumineuse s'écoulant physiquement plus lentement dans un référentiel en mouvement que dans le référentiel fixe, on peut donc parler d'une dilatation physique du temps de R'/R.

Nous allons maintenant décrire ce qui se passe lorsque la règle est posée parallèlement au déplacement.

Au temps $T_o = 0$, les deux sources, S_f et S_m sont confondues, un signal lumineux est envoyé le long de la règle vers le miroir M_m. On appelle X la longueur de la règle S_mM_m mesurée dans R.



Dans R la lumière parcourt la règle de S_f à M_m à la vitesse $C - V_e$ pendant le temps T_a à l'aller



et de M_m à S_m à la vitesse $C + V_e$ pendant le temps T_r au retour.

On a : $X = (C - V_e)\, T_a = (C+V_e)\, T_r$

On peut donc obtenir X en fonction de T_a et T_r. Le temps total étant $T = T_a + T_r$, on peut obtenir X en fonction de T. Or on a vu lorsqu'on a déterminé l'équation du temps propre que l'on peut exprimer T le temps mesuré dans R en fonction de T' le temps mesuré dans R'. On peut donc exprimer X en fonction de T' et puisque la vitesse de la lumière est apparemment la même quelle que soit la vitesse du référentiel dans lequel on fait les mesures, on peut exprimer T' en fonction de X' en posant X' = CT'.

On en arrive à exprimer X en fonction de X'

On obtient : $\boxed{X' = \gamma X \qquad \text{l'équation de la longueur propre}}$

A la vitesse V_e = 180 000 Km/s, une règle qui mesure 3 mètres dans R' ne mesure que 2,4 m dans R bien qu'elle soit toujours gradués de 0 à 3 m.

Cette équation montre qu'un référentiel en mouvement subit une contraction de ses longueurs dans la direction du déplacement. La règle et son référentiel subissant la même contraction, cette contraction est indétectable dans le référentiel de la règle.

Cette contraction est représentée dans ce modèle, comme une contraction physique de la règle dans le sens du déplacement.

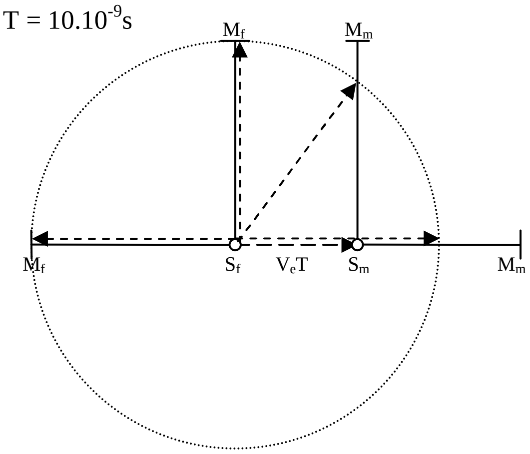
On peut toutefois imaginer, comme l'énonce Albert Einstein dans la théorie de la relativité restreinte, qu'elle provient d'une rotation de la règle dans le temps ; l'équation permettant de connaître la contraction des longueurs étant la fonction réciproque de celle décrivant la dilatation du temps, qui elle, provient d'une rotation de CT autour de S_f, avec $\gamma = T/T' = X'/X$

Nous allons maintenant représenter le déplacement de la lumière dans les référentiels contractés dans la direction du déplacement.

La lumière est émise au temps T = T’ = 0 en direction des différents miroirs lorsque S_f et S_m sont confondus.

Que la lumière soit émise par l’une ou l’autre source ne change rien à son déplacement dans l’éther.

$T = 10.10^{-9}$s



Dans le référentiel fixe, au temps $T = 10.10^{-9}$s la lumière a parcouru la totalité des règles fixes de 3m. Toutes les horloges du référentiel fixe indiquent la même heure.

Il n’en est pas de même dans le référentiel mobile. En raison de la constance de la vitesse de la lumière dans R’, la lumière parcourt la totalité des règles mobiles en $T' = 10.10^{-9}$s.

Dans R’, l’horloge située à 4/5 de la règle mobile verticale indique 8.10^{-9}s au passage de la lumière, celle située à la moitié de la règle horizontale mobile indique 5.10^{-9}s à son passage

Ceci signifie que si le temps mesuré est le même en tous points du référentiel fixe, le temps mesuré dans le référentiel mobile dépend de l’endroit ou on fait les mesures.

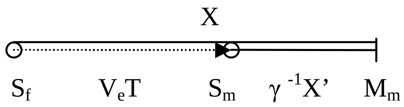
Nous allons donc chercher à déterminer les équations permettant de calculer les temps mesurés aux différents points du référentiel mobile.

Pour cela, nous allons d’abord nous intéresser à la manière dont on fait les mesures d’un référentiel sur l’autre, sachant que l’observation montre qu’aucune différence n’est constatable au sein d’un référentiel, quelle que soit sa vitesse.

On a vu lorsqu’on a calculé l’équation de la longueur propre que la règle S_mM_m a subit une contraction physique dans la direction du déplacement, et que dans R, elle ne mesure pas X’ la valeur mesurée dans R’, mais $\gamma^{-1}X'$.

On remplace S_mM_m par $\gamma^{-1}X'$

Dans R



On a: $X = V_eT + \gamma^{-1}X'$

on obtient $\boxed{X' = \gamma\,(X - V_eT)}$ la transformation de Lorentz relative à la position

De même, en remplaçant X par CT, X’ par CT’ et le T de V_eT par X/C,

on obtient $\boxed{T' = \gamma\,(T - V_eX/C^2)}$ la transformation de Lorentz relative au temps

Si à partir de ces équations on exprime X et T en fonction de X’ et T’,

on obtient : $\boxed{X = \gamma\,(X' + V_eT')}$ la transformation réciproque relative à la position

et $\boxed{T = \gamma\,(T' + V_eX'/C^2)}$ la transformation réciproque relative au temps

En regardant ces équations, on remarque qu’en T = T’ = 0, on a $X' = \gamma X$ et $X = \gamma X'$.
Comment X’ peut-il être contracté par rapport à X si X est contracté par rapport à X’?

De même, en $X = X' = 0$ on a $T' = \gamma T$ et $T = \gamma T'$.
Comment T' peut-il être dilaté par rapport à T si T est dilaté par rapport à T' ?

Pour Lorentz qui considérait la contraction des longueurs et la dilatation du temps comme des phénomènes de nature physique, cela semblait incohérent.
Comment puis-je être physiquement plus petit que vous si vous êtes physiquement plus petit que moi ? Comment puis-je être physiquement plus vieux que vous si vous êtes physiquement plus vieux que moi ?

Ne trouvant pas d'interprétation raisonnable à ses équations, il les prit pour des curiosités mathématiques sans sens physique et n'alla pas plus loin.

Einstein trouva une solution raisonnable en disant que la contraction des longueurs et la dilatation du temps était de nature purement observationnelle et non physique.
Si je fais physiquement la même taille que vous et que l'on s'éloigne l'un de l'autre, alors je vous verrai plus petit que moi, et vous me verrez plus petit que vous d'un même facteur de contraction.
De même, si on a physiquement le même âge et qu'on s'éloigne l'un de l'autre, en raison de la vitesse finie de la lumière, je vous verrai plus jeune que moi et vous me verrez plus jeunes que vous de manières symétriques.

Tout semblait devenir clair.

En réalité, Einstein n'interprétait pas la contraction des longueurs et la dilatation du temps en raison de l'éloignement entre l'observateur et l'objet observé, mais en raison d'une rotation du temps dans l'espace et de l'espace dans le temps dont l'effet de parallaxe lors de la mesure donne la contraction des longueurs et la dilatation du temps. Dans les deux cas, les phénomènes de contraction-dilatation sont parfaitement symétriques et interprétés par des effets purement observationnels.

On a vu lorsqu'on a étudié la dilatation du temps de R'/R que dans notre modèle, celle-ci est de nature physique et est engendrée par une rotation du temps dans l'espace.

En revanche, on a vu lorsqu'on a étudié la contraction des longueurs de R'/R que si l'équation trouvée peut être interprétée mathématiquement comme correspondant à une rotation de l'espace dans le temps, elle correspond dans ce modèle à une contraction physique des longueurs dans la direction du déplacement.

Ainsi, on ne pourra pas utiliser les arguments d'Einstein pour interpréter la représentation que l'on utilise.

Nous allons montrer que si l'on considère les schémas précédents comme représentant la réalité, alors, on doit donner une interprétation de la contraction des longueurs et de la dilatation du temps à mi-chemin entre celle de Lorentz pour qui tout est physique et celle d'Einstein pour qui tout est purement observationnelle.

Cette interprétation propose de décrire les phénomènes de contraction-dilatation de R'/R comme étant de nature physique, et la contraction-dilatation de R/R' comme étant de nature observationnelle.

Pour montrer cela, nous allons d'abord nous intéresser à la symétrie de la contraction des longueurs, puis à la symétrie de la dilatation du temps.

Symétrie de la contraction des longueurs

Dans R, référentiel au repos absolu, il faut nécessairement que toutes les horloges indiquent simultanément la même heure pour pouvoir mesurer une vitesse constante pour la lumière. Lorsque l'observateur de R mesure la règle en mouvement, il repère ses deux extrémités au même instant T et mesure la contraction physique subie par la règle.

Le résultat de sa mesure est : $X = \gamma^{-1} X'$

Puisque dans R toutes les horloges indiquent simultanément la même heure, alors la transformation de Lorentz :
$T = \gamma\,(T' + V_e X'/C^2)$ s'écrit

En $X'_o = 0$ $\quad T = \gamma\, T'_{x'o}$
Et en X'quelconque $\quad T = \gamma\,(T'_{x'} + V_e X'/C^2)$

Si on soustrait ces équations l'une de l'autre, on obtient

$T'_{x'} = T'_{x'o} - V_e X'/C^2$	Equation liant les horloges d'un même référentiel

Ceci signifie que si dans R, l'heure indiquée par les différentes horloges est indépendante de leurs positions, ($V_e = 0$) ; il n'en est pas de même dans R' ou elles varient en fonction de X' d'une valeur $\Delta T' = - V_e X'/C^2$ et ce, indépendamment de T.

A la vitesse V_e = 180 000 Km/s le décalage des horloges de R' est de 2 milliardièmes de seconde par mètre. On retrouve les 3 milliardièmes de seconde séparant les horloges distantes de 1,5m sur la règle horizontale du référentiel mobile que l'on avait déduit graphiquement grâce au schéma représentant les deux référentiels.

Lorsque l'observateur de R' mesure la règle de R, il fait le repérage d'X'_o en $T'_{x'o} = 0$ et le repérage d'X' en $T'_{x'} = 0$, c'est-à-dire lorsque $T'_{x'o} = V_e X'/C^2$.

Puisque R' est en mouvement, son temps se dilate et le temps $\Delta T' = V_e X'/C^2$ séparant $T'_{x'} = 0$ de $T'_{x'o} = 0$ correspond dans R à $\Delta T = \gamma V_e X'/C^2$.

Pendant ce temps la règle de R' se déplaçant à la vitesse V_e a parcouru dans R la distance : $D = \gamma V_e^2 X'/C^2$.

Or, en raison de la contraction physique de R'/R, la règle qui mesure X' dans R' ne mesure que $\gamma^{-1} X'$ dans R.

L'observateur de R' mesure donc entre les deux repérages, la longueur de sa règle dans R plus le déplacement D qu'elle a parcourue dans R

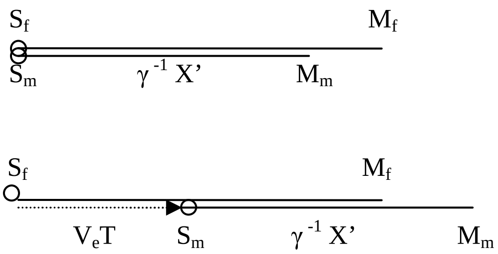
Dans R

$T = 0$

$T'_{Sm} = 0$

$T = \gamma V_e X'/C^2$

$T'_{Mm} = 0$



C'est à dire $\quad X = \gamma^{-1} X' + \gamma V_e^2 X'/C^2$.

Soit : $\quad X' = \gamma^{-1} X$

Pour X' = 3 m, on a $\gamma^{-1} X' = 2{,}4$ m et $D = \gamma V_e^2 X'/C^2 = 1{,}35$ m, soit X = 3,75 m

3 / 2,4 = 3,75 / 3 les contractions observées sont donc symétriques.

L'observateur de R' mesure bien une contraction des longueurs de R réciproque de celle que l'observateur de R mesure lorsqu'il mesure la règle de R', mais les deux contractions ne sont pas de même nature.

Dans ce modèle, la contraction de R'/R est une contraction physique, tandis que la contraction de R/R' est de nature physico-observationnelle provenant de la contraction physique de R'/R, de la dilatation physique du temps de R'/R, du décalage des horloges de R' à T constant et de la manière dont l'observateur de R' se représente sa règle et l'heure indiquée par les horloges distantes.

La contraction de R'/R est donc physique, celle de R/R' est imaginaire.

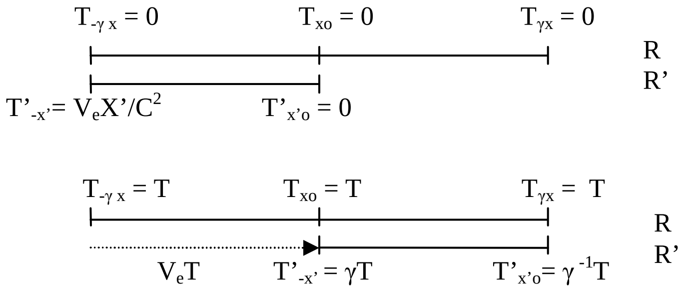
Symétrie de la dilatation du temps.

Lorsque les observateurs se croisent, l'observateur situé en X_o règle son horloge pour qu'elle indique $T_{xo} = 0$, celui placé en X_o' la règle pour qu'elle indique $T'_{x'o} = 0$
Chacun reste fixe dans son référentiel

Au temps T, lorsque R' s'est déplacé de V_eT, vers la droite, les observateurs comparent l'horloge de leur référentiel à celle de l'autre passant à leur niveau

$T = T'_{x'o} = 0$

$T = T$
$T'_{x'o} = \gamma^{-1} T$



On prend l'équation qui lie les différentes horloges d'un même référentiel

Soit: $$T'_{-x'} = T'_{x'o} + V_eX'/C^2$$

Au temps T, l'horloge située en - X' s'est déplacée dans R vers la droite de la distance $X' = V_eT'_{-x'}$ pour rejoindre X_0

On remplace X' par $V_eT'_{-x'}$

On obtient $$T'_{-x'} = \gamma^{-1}T + V_e^2T'_{-x'}/C^2$$

Soit $$T = \gamma^{-1} T'_{-x'}$$

C'est-à-dire que lorsque l'horloge située en X'_o indique $T'_{x'o} = \gamma^{-1}T$, celle située en X_o indique $T = \gamma^{-1}T'_{-x'}$.
Ainsi, chaque observateur voit le temps de l'autre référentiel dilaté par rapport au sien.

On montre facilement qu'en raison de la constance apparente de la vitesse de la lumière, les résultats auraient été les mêmes si les observateurs avaient comparé l'horloge de leur propre référentiel située en X_o ou en X'_o à n'importe quelles horloges de l'autre référentiel après avoir corrigée l'heure indiquée par les horloges distantes pour tenir compte du temps de parcours de la lumière entre les horloges comparées.

On montre de même, que le déplacement d'une montre dans un référentiel en mouvement ne permet pas de mesurer le décalage des horloges en son sein. En effet, un observateur se déplaçant dans un référentiel corrige l'heure indiquée par sa montre pour tenir compte de la dilatation du temps subie lors de son déplacement. Toutefois, sa correction ne tient pas compte de sa vitesse réelle, mais uniquement de sa vitesse relative, et retrouvant systématiquement après correction l'heure indiquée par l'horloge du référentiel dans lequel il se déplace, il n'a aucun moyen de savoir si ce référentiel est fixe dans R ou en mouvement.

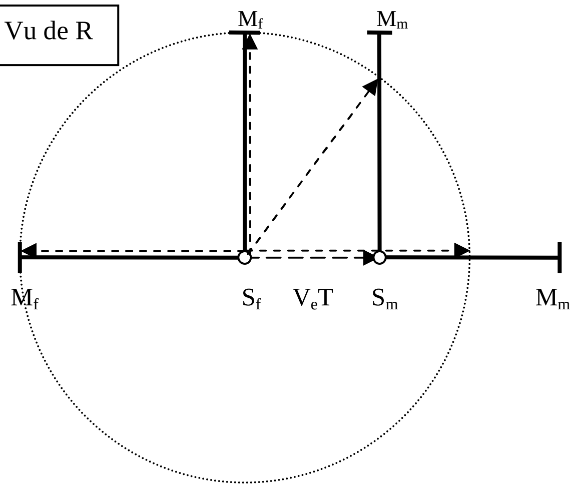
Dans ce modèle, la dilatation du temps d'un référentiel sur l'autre, si elle est toujours parfaitement symétrique provient là aussi de deux phénomènes de natures différentes.

La dilatation du temps de R'/R est une dilatation physique provenant de la rotation du temps dans l'espace, tandis que la dilatation du temps de R/R' est une dilatation de nature physico-observationnelle provenant de la dilatation physique du temps de R'/R, de la contraction physique des longueurs de R'/R du décalage physique entre les horloges de R', et de la manière dont l'observateur de R' se représente les horloges de son référentiels qui, selon lui, indiquent toutes simultanément la même heure.

La dilatation du temps de R'/R est physique, celle de R/R' est imaginaire.

Schémas décrivant la symétrie de point de vue des observateurs

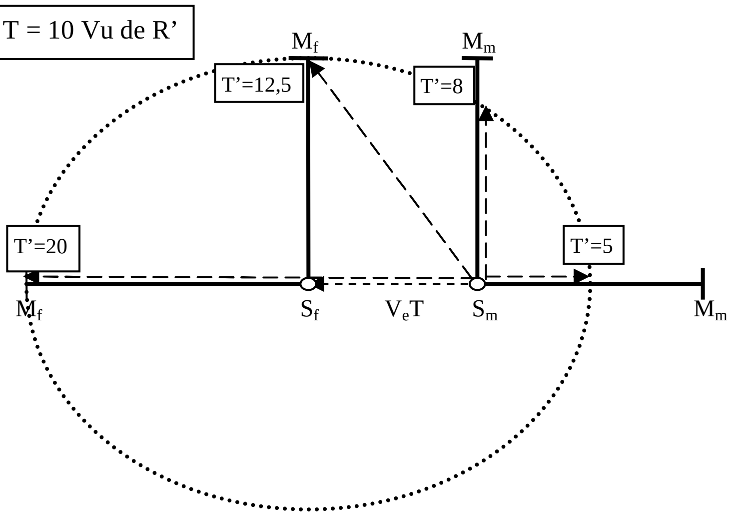
T = 10 Vu de R



Le référentiel mobile est contracté dans le sens du déplacement.

A T = 10.10^{-9}s, La lumière ayant parcourue la même longueur le long des règles de R, dans toutes les directions, toutes les horloges du référentiel fixe indiquent simultanément la même heure.

T = 10 Vu de R’

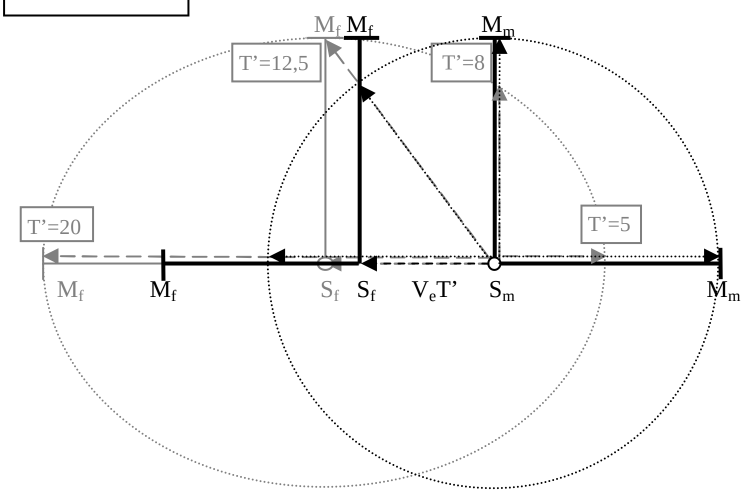


L’observateur du référentiel mobile n’ayant pas conscience de la contraction de son référentiel va le représenter à la taille que les graduations de ses règles lui suggèrent. Il va donc dilater son référentiel et le référentiel fixe dans la direction du déplacement.

Pour lui, les rayons lumineux ont été émis par la source de son référentiel.

Les distances parcourues par la lumière dans le référentiel mobile dépendant de la direction de propagation du signal par rapport au déplacement du référentiel ; à l’instant T, les horloges du référentiel mobile indiquent des temps différents

T’=10 vu de R’



L’observateur du référentiel mobile, s’imagine que toutes les horloges de son référentiel indiquent simultanément la même heure T’ = 10.10^{-9}s.

Il se représente les différents points du référentiel fixe non pas à la distance où ils se trouvent par rapport à lui à l’instant T d’observation, mais à la distance où ils se trouvaient lorsque les horloges du référentiel mobile se trouvant à leurs niveaux indiquaient T’=10.10^{-9}s., c'est-à-dire lorsque la lumière avait parcouru 4/5 de la règle fixe verticale qu’elle parcourt dans sa totalité en T’= $12{,}5.10^{-9}$s et la moitié de la règle fixe horizontale qu’elle parcourt en totalité en T’ = 20.10^{-9}s

Ainsi, alors qu’en raison de la contraction des longueurs de son référentiel, l’observateur de R’ devrait voir le référentiel R dilaté - il ne mesure que 2,4 m du référentiel fixe avec sa règle de 3 m - en raison de la représentation qu’il se fait de l’heure indiquée par ses horloges – il considère qu’elles indiquent toutes simultanément la même heure - il se représente le référentiel fixe contracté et non dilaté.

Cette représentation imaginaire est parfaitement justifiée, car c'est elle qui en faisant apparaître les règles non contractées et les horloges synchrones dans les référentiels en mouvement, permet de mesurer une vitesse constante pour la lumière quelle que soit la vitesse du référentiel et que le résultat d'une expérience est indépendant de la vitesse du référentiel dans lequel elle est réalisée.

La représentation proposée ici ne prouve aucunement l'existence de l'éther mais montre clairement que, contrairement à ce qu'affirment Stephen Hawking et Wikipédia, si la lumière se déplace physiquement à vitesse constante dans un milieu au repos absolu, assimilable à une forme d'éther, alors non seulement, la représentation que l'on se fait de nos règles et du temps indiqué par nos horloges nous la fait mesurer constante dans tous les référentiels galiléens, mais de plus, ce sont les équations utilisées en relativité restreinte qui permettent de décrire son déplacement

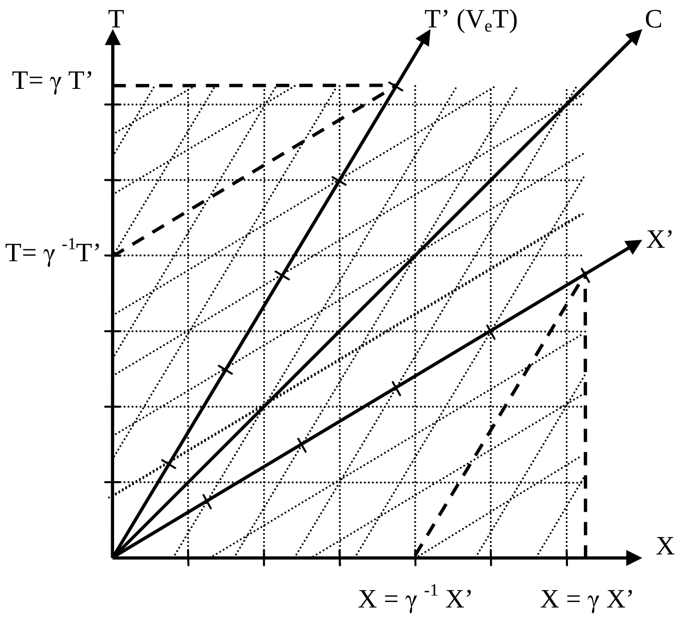
En revanche, on voit bien que l'interprétation des phénomènes relativistes décrit ici en se basant sur le déplacement de la lumière dans l'éther, et s'appuyant sur des phénomènes de contraction-dilatation physiques, diffère de celle donnée par Einstein pour qui tout est purement observationnel et non physique.

La théorie de la relativité restreinte représente la symétrie des équations de Lorentz par le schéma suivant :

On place d'abord l'axe des T perpendiculairement à l'axe des X.

On choisit les unités pour que la droite portant C fasse un angle de 45° avec l'axe des X.
On représente la droite portant V_e, que l'on assimile à l'axe des T' de R'.

La vitesse de la lumière devant être égale à C aussi bien dans R' que dans R, on place l'axe des X' de telle manière que l'angle entre l'axe des T' et la droite portant C soit le même que l'angle entre l'axe des X' et la droite portant C.



Si on projette T' sur T parallèlement à X, on obtient une dilatation du temps de R'/R.

Si on projette T sur T' parallèlement à X', on obtient une dilatation du temps de R/R'.

Si on projette X' sur X parallèlement à T', on obtient une contraction des longueurs de R'/R.

Si on projette X sur X' parallèlement à T, on obtient une contraction des longueurs de R/R'.

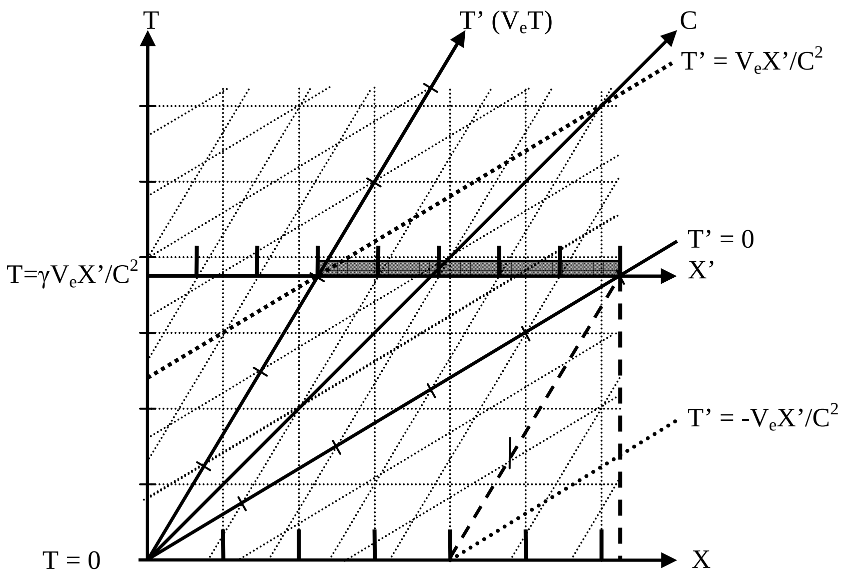
Cette représentation, si elle respecte parfaitement la symétrie des transformations de Lorentz en représentant X' comme une rotation de X dans le temps soulève un certain nombre de questions.

Si on veut représenter un train se déplaçant sur des rails à la vitesse V_e, faut-il représenter le train parallèlement à X' ou parallèlement à X et dans ce dernier cas, de telle manière que X = γ^{-1} X' ou que X = γ X'?

Lorsque pour les observateurs de X_0 et de X'_0, T = T' = 0 ; les observateurs de R situés dans les X négatifs sont dans le futur de R', ceux situés dans les X positifs sont dans le passé de R'. Qu'est-ce que cela signifie ?

On peut répondre simplement à ces questions si on renonce à faire subir une rotation à l'axe des X' et qu'on le remplace par la droite de simultanéité des T' = 0.

On représente alors le train parallèlement à X de telle manière que l'une de ses extrémités soit en contact avec l'axe V_eT, et l'autre soit en contact avec la droite de simultanéité T' = 0.



Pour les observateurs de R, qui repèrent les deux extrémités du train en $T_{xo} = T_x$ le train est contracté.
Pour les observateurs du train qui repèrent les deux extrémités du train en $T'_{x'o} = T'_{x'}$ c'est R qui est contracté.

La différence entre les deux mesures provient de la prise en compte ou non du déplacement V_eT dans l'intervalle permettant à $T'_{x'}$ de devenir égale à $T'_{x'o}$.

Les observateurs se trouvant dans les X négatifs ne sont plus dans le futur de R', mais ne font que lire le décalage des horloges permettant de mesurer une vitesse constante pour la lumière dans R', ceux se trouvant dans les X positifs ne sont plus dans le passé de R', mais ne font que lire, là aussi, le décalage des horloges de R'.

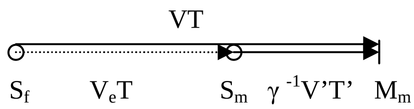
Existent-ils des arguments permettant de trancher entre la représentation donnée ici et la théorie de la relativité restreinte ?

Il faut vraisemblablement aller les chercher, s'ils existent, dans les phénomènes que subissent les référentiels au cours de l'accélération les faisant passer de la vitesse nulle à la vitesse V_e, pour déterminer la nature de la contraction et savoir si celle-ci provient d'une rotation de l'espace dans le temps ou d'une contraction des longueurs dans le sens du déplacement.

Pour déterminer l'équation liant les accélérations des différents référentiels, nous allons d'abord chercher la loi d'addition des vitesses en considérant la contraction physique du référentiel en mouvement.

Nous allons reprendre le schéma que nous avions utilisé pour déterminer les équations de transformation de Lorentz en remplaçant X par VT et X' par V'T'.

Dans R



La loi de composition des vitesses peut se construire comme celle établie par Galilée si l'on tient compte de la contraction des longueurs et de la dilatation du temps du référentiel en mouvement

On a: $VT = V_eT + \gamma^{-1}V'T'$

On remplace T' par l'expression qu'en donne la transformation de Lorentz relative au temps à l'intérieur de laquelle on remplace X par VT.

On obtient : $\boxed{V = (V_e + V')/ (1 + V_eV'/C^2) \quad \text{la loi relativiste de composition des vitesses}}$

Soit l'équation que donne la théorie de la relativité restreinte en calculant V = dX/dT.

On tire de la loi relativiste de composition des vitesses celle qui relie les accélérations mesurées dans les différents référentiels en dérivant V par rapport à T.

Soit a l'accélération, on a : $a = dV/dT = (dV/dT') / (dT'/dT)$

On trouve: $\boxed{a = a' \gamma^{-3} (1+ V_e V'/C^2)^{-3} \quad \text{équation liant les accélérations}}$

On remarque que lorsque V_e tend vers C, γ^{-3} tend vers 0 et l'accélération a mesurée dans R tend vers 0 quelle que soit l'accélération a' mesurée dans R'.

Etant donné qu'on peut toujours trouver un référentiel ayant une vitesse Ve qui annule V' et dans lequel on peut mesurer a', on en déduit qu'aucun objet matériel accéléré ne peut atteindre la vitesse de la lumière.

Ceci montre qu'aucun objet matériel ne peut sortir des sphères de temps qu'il a engendrées conformément à ce qui est représenté sur le premier schéma et que jamais celles-ci ne pourront entrer en contact les unes avec les autres ni se chevaucher, et inverser ainsi le sens du temps.

Fin de la première partie.