



HAL
open science

Le Temps remodelé

Dominique Ausserre

► **To cite this version:**

| Dominique Ausserre. Le Temps remodelé. 2018. hal-01920573

HAL Id: hal-01920573

<https://hal.science/hal-01920573v1>

Preprint submitted on 13 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le Temps remodelé
Dominique Ausserré
Paysages moléculaires, Horizons biophotoniques
UMR CNRS n° 6283 - Le Mans Université
ausserre@univ-lemans.fr, Tel 0608284800

Abstract :

La régularité du temps est implicitement dictée par la conformité de sa mesure aux lois de la physique. Le principe d'inertie, par exemple, cale la mesure du temps sur celle de l'espace. Ces lois rendent compte d'observations et d'expériences cumulées sur tout au plus 2000 ans. Dans les problématiques cosmologiques, elles sont prolongées "par continuité" ou par habitude sur un domaine temporel sept millions de fois plus étendu, un peu comme si on déduisait la forme de la terre de celle d'un tas de sable. Si on introduit un nouveau temps comme une fonction monotone du temps habituel, alors les lois de la physique sont compatibles soit avec l'un, soit avec l'autre, mais pas avec les deux. Par un choix approprié de la transformation, les lois attachées à l'un et à l'autre, tout comme les deux temps eux-mêmes, peuvent cependant rester tangentes au présent, de telle manière que les modèles physiques y restent identiques. Par contre, elles deviennent très différentes à l'échelle cosmologique. En utilisant pour l'exemple une transformation temporelle arbitraire, et en supposant que les lois de la physique sont vraies sur le temps remodelé, c'est à dire à dire le nouveau, je montre que le Red Shift et l'expansion de l'univers apparaissent en qualité et en quantité raisonnables comme résultant de l'utilisation abusive du temps habituel dans les équations. Le remodelage du temps qui est proposé n'est qu'un exemple parmi une infinité de remodelages possibles encadrés par six conditions très simples. Cet temps remodelé a pour autres caractéristiques d'être (enfin) infini, de n'avoir que le présent comme origine, et de présenter l'asymétrie entre passé et futur qui convient à la description des phénomènes irréversibles.

Préambule

Dieu ne se conforme pas à nos lois. Si la nature n'a pas besoin de lois pour exister, alors les lois de la nature sont les lois de l'homme dans la nature. Elles nous permettent d'abstraire notre environnement, de réveiller nos expériences les plus proches de toute situation nouvelle et de reproduire un comportement appris dans des situations perçues comme similaires. Ainsi, les modèles physiques apparaissent comme des approximations. Ils contiennent des erreurs ou incertitudes confinées à un niveau acceptable pour notre champ d'expériences. Lorsqu'on sort de ce domaine pour annexer des informations nouvelles, les lois ne sont plus adaptées aux expériences, aussi sûrement qu'une technique de tir à l'arc développée dans un jardin ne permet pas d'atteindre une cible posée sur la lune. C'est ce qui se produit bien sûr quand on s'aventure avec nos lois de l'homme aux échelles cosmologiques. L'expérience et les modèles se... télescopent ! Ce qui est proposé ici est une perturbation des lois de la physique habituelles visant à réconcilier notre intuition (l'articulation de nos expériences) avec les données cosmologiques. Elle repose sur une redistribution de la régularité du temps. L'effet de cette perturbation est imperceptible ou quasi-imperceptible sur les modèles à échelle humaine, et gigantesque sur les modèles cosmologiques.

Introduction

Considérez un monde dans lequel l'unité de longueur changerait avec l'éloignement de l'observateur. Cet observateur n'aurait aucun moyen de s'en rendre compte à moins de trouver quelque chose de fixe à quoi comparer à cette unité variable. C'est un peu ce schéma que nous propose le modèle de l'expansion de l'univers. L'information qui nous parvient des objets éloignés est ancienne, car l'éloignement dans l'espace s'accompagne d'un éloignement dans le temps. Si l'univers s'expand continûment (se dilate avec le temps), les distances que nous mesurons dans le passé aujourd'hui révélé correspondent à un taux d'expansion moindre. Elles sont donc plus petites. Mais la lumière qui en provient continue son battement régulier sans changement de fréquence, ce battement régulier se propageant à vitesse constante au fil des âges dans un espace de plus en plus dilaté, si bien que la longueur d'onde caractéristique de ce battement s'allonge, et que cette lumière devient de plus en plus rouge. C'est ce qu'on appelle le Red Shift. Cette constance postulée de la fréquence du battement est le point fixe qui manquait à notre observateur. La stabilité de cette fréquence concrétise la "régularité" du temps.

Nous allons maintenant imaginer un monde dans lequel l'unité de durée change avec l'âge de l'univers. On dit volontiers que le temps s'écoule de façon régulière, uniforme (Newton), ou même "linéaire", que chaque heure est exactement aussi "longue" que la précédente. En témoignent d'ailleurs tous les mouvements périodiques indépendants qui peuplent notre univers, dont on peut comparer les périodes de façon reproductible. Mais tout ceci suscite quand même une question : régulière, uniforme, linéaire ... par rapport à quoi ? Si tout "s'accélérait" ou "se ralentissait", comment le saurions-nous ? Et plus encore, qu'est-ce que ça veut dire ? S'accélérer ou se ralentir sous l'effet de quelle force et en dépit de quelle inertie ? Là encore, notre seul véritable repère est le lien entre l'espace et le temps. Il semble bien établi avec une vitesse de la lumière constante. Et pourtant cet argument ne règle rien puisque la mesure de cette vitesse dépend de la mesure du temps. Que signifie une vitesse constante si les unités de distance et de durée peuvent être définies de différentes manières ? C'est juste un couplage entre ces unités.

La physique modélise la réalité par des fonctions (des relations) qui décrivent les liens entre les choses. Ces choses, aussi, elle les définit. Le modèle physique obéit notamment à deux exigences :

- i) ne pas être contredit par l'expérience;
- ii) être philosophiquement acceptable, c'est à dire compatible avec notre intuition. Cela signifie au fond qu'on doit pouvoir projeter une partie de notre propre expérience, de notre propre perception, de notre propre fonctionnement dans ce qu'on décrit. L'homme fait Dieu à son image.

Mais l'expérience, même cumulée, se limite à une fenêtre, celle des choses accessibles. Les grandeurs et les concepts que manipulent les modèles sont pourtant souvent définis plus largement, mais ils ne peuvent être confrontés à la réalité qu'à travers cette fenêtre que j'appellerai "le vasistas" pour souligner comme elle est petite. Ainsi, par exemple, l'espace dans lequel tout s'inscrit peut être conceptuellement infini mais sa partie accessible, l'univers observable, est finie. Ce (déjà) grand espace est le plus vaste spectacle que nous autorise notre vasistas, et pour l'essentiel en différé.

Tout ce qui sort du vasistas est hors de portée. Alors peu importe ce qu'en dit le modèle. Deux concepts, grandeurs ou relations indiscernables dans le vasistas, que nous qualifierons de "tangents", sont aussi acceptables l'un que l'autre selon le premier des deux critères, la conformité à l'expérience. Cela nous donne une grande liberté pour satisfaire au mieux le second, et je vais en faire usage ici en tentant d'ébranler certaines de nos certitudes sur le temps. Mon objectif est seulement d'introduire la possibilité a priori inacceptable d'en modifier la nature a priori pas très bien définie. Pour montrer le caractère arbitraire de notre temps physique, il suffit en effet de montrer par un exemple précis qu'on pourrait le changer.

Partant du temps t habituel, transformé en une quantité adimensionnelle τ , je vais donc en définir un autre, un temps adimensionnel θ , comme une fonction strictement monotone arbitraire du premier. Ainsi, je ne changerai pas le sens de l'histoire. Je vais ensuite montrer que cet autre temps θ coïncide avec le temps τ dans le vasistas, au point que les équations courantes de la mécanique et de l'électromagnétisme ne sont pas modifiées. L'impact de cette définition d'un autre temps est donc nul vis à vis du premier critère en ce qui concerne les expériences courantes. Son apport est de mieux satisfaire par contre le second, le critère philosophique. Nous verrons par exemple que l'âge de l'univers mesuré dans le nouveau temps deviendra infini, ce que je trouve personnellement plus satisfaisant que le concept de "début du temps" qui, sauf à lui donner un caractère explicitement asymptotique, me paraît proprement absurde, et cela apparaîtra surtout comme n'étant ni plus ni moins arbitraire que la valeur de 13,5 milliards d'années donnée dans le temps habituel. Les deux options, en effet, consistent de toute façon l'une comme l'autre à prolonger à l'extérieur du vasistas des concepts élaborés depuis l'intérieur. Je montrerai aussi que ce temps θ permet de rendre compte du Red Shift sans faire appel à la notion bien artificielle d'expansion de l'univers, devenue expansion accélérée de l'univers, et réclamant la présence d'une énergie aussi noire qu'une bouteille d'encre.

En préambule, rappelons que les théories de la relativité restreinte et générale décrivent des métriques qui se conservent dans les changements de référentiels. Elles sont construites sur deux hypothèses essentielles :

- i) la vitesse de la lumière est indépendante du référentiel dans lequel elle est mesurée.

ii) les lois de la physique - de la mécanique et de l'électromagnétisme - sont invariantes dans ces transformations.

, auxquelles s'ajoute l'équivalence entre masse inertielle et masse pesante pour la relativité générale.

Les deux premières se traduisent en relativité restreinte par la conservation du carré de l'élément d'espace-temps qui s'écrit :

$$\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta l^2 \quad (1)$$

Je souligne que les changements de référentiels envisagés dans les théories relativistes concernent évidemment les mêmes événements observés dans l'un et l'autre de ces référentiels, et ne concernent que ces événements. Les théories de la relativité ne disent rien de plus que le modèle Newtonien sur la répétibilité des événements. D'ailleurs, la métrique Δs^2 elle-même est communément autorisée à dériver sur des temps longs par l'introduction du facteur d'expansion $a(t)$ de l'univers :

$$\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - [a(t)]^2 \Delta l^2 \quad (2)$$

Donc l'invariance par changement de référentiel et l'invariance sur des temps longs sont deux choses différentes. La même distinction peut s'appliquer aux lois (aux équations) de la physique. Leur invariance par changement de référentiel pour décrire un même processus, c'est à dire un intervalle compact de l'espace-temps, ne garantit en rien leur invariance au cours du temps long. Cela concerne aussi la vitesse de la lumière, que remettent d'ailleurs en cause les modèles dits de "lumière fatiguée".

Afin de préciser la notion de temps long, on peut introduire l'âge t_0 de l'univers. En prenant la naissance de l'univers comme origine du temps t , on a toujours $t = t_0$ au présent. La coordonnée du présent sur l'axe des temps se réactualise sans cesse. Dans les équations de la physique, on ne peut pas se limiter au présent. On doit envisager des variations $\Delta t = t - t_0$ autour du présent. Ces variations sont très petites devant t_0 , ce qui justifie les appellations de temps court pour Δt et de temps longs pour t ou t_0 . Afin de souligner puis d'exploiter cette distinction, nous définissons une durée relative $\tau = \frac{\Delta t}{t_0}$, qui est un petit taux d'accroissement du temps, et nous écrivons:

$$t = t_0(1 + \tau) \quad (3)$$

Autour du présent, la durée relative τ est donc un nombre adimensionnel très petit devant 1. Et sa différentielle $d\tau$ est encore infiniment plus petite.

Arrêtons-nous maintenant sur les mécanismes d'induction qui nous font observer des événements aux temps courts, en déduire des lois de la physique, confronter ces lois à l'expérience aux temps courts, puis ... les appliquer intactes aux temps longs pour en déduire des modèles cosmologiques, c'est à dire pour rendre compte de façon bien compliquée (parce que ce serait un sacré miracle que ces lois soient encore adaptées) des rares informations que nous possédons sur cette toute autre échelle. Il y a là une dimension aussi abusive qu'à déduire la forme de la terre de la topographie d'un monticule. Ne serait-il pas plus simple d'introduire des lois de la physique dynamiques, c'est à dire capables de varier au cours du temps long ? C'est ce que nous allons faire ici en redéfinissant le temps que manipulent ces équations. La Figure 1 insiste sur ce caractère abusif.

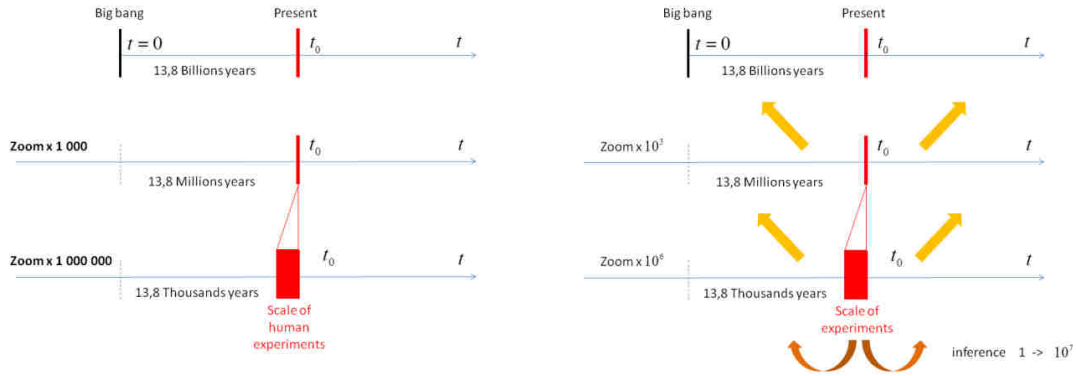


Figure 1 . L'image de gauche invite à comparer les âges de l'homme scientifique et de l'univers. L'image de droite représente le mécanisme d'induction par lequel on projette nos modèles "par continuité" d'une échelle l'autre.

La Figure 1a montre un axe du temps conforme à la représentation du temps physique de Newton, et portant deux marques particulières, correspondant respectivement à la naissance de l'univers et au présent. On peut estimer à 2000 ans la période couvrant toutes les observations, expériences et mesures sur lesquelles sont construites nos lois de la physique. La ligne rouge englobe donc tout notre capital de données expérimentales. L'épaisseur de cette ligne, choisie aussi fine que l'autorise l'impression numérique, est de $40 \mu\text{m}$, tandis que les 13,6 Milliards d'années de l'univers sont représentés par 4 cm. Il faudrait donc affiner encore notre trait rouge d'un facteur 8000 (jusqu'à 5 nm) pour avoir une représentation correctement proportionnée de ces différentes durées. Toutes proportions gardées, ce qui est étayé par l'expérience dans l'épaisseur $40 \mu\text{m}$ du trait rouge, on le prolonge "par continuité" sur une largeur de page de 320 mètres ! C'est ce processus que représentent les flèches d'induction de la Figure 1b.

Le temps remodelé

J'introduis maintenant un temps remodelé θ comme une fonction sans dimension de la durée relative :

$$\theta = \text{Argth}\left(\frac{t-t_0}{t_0}\right) = \text{Argth}(\tau) \quad (4)$$

, avec sa fonction réciproque $\tau = th\theta$, et leurs dérivées respectives : $\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{1-\tau^2}$; $\frac{d^2\theta}{d\tau^2} = \frac{2\tau}{(1-\tau^2)^2}$;
 $\frac{d\tau}{d\theta} = 1 - \tau^2 = \frac{1}{ch^2\theta}$; $\frac{d^2\tau}{d\theta^2} = -2\tau(1 - \tau^2) = -2 \frac{sh\theta}{ch^3\theta}$.

La fonction $\theta(\tau)$, représentée sur la Figure 2, est adimensionnelle. Pour restaurer la dimension d'un temps, on doit considérer la quantité $BT = t_0\theta$ (avec BT comme "Big Time", une alternative au "Big Bang").

Elle possède les propriétés suivantes au présent :

$$\text{Monotonie} \quad \forall \tau \in [-1,1], \frac{d\theta}{d\tau} > 0 \quad (5)$$

$$\text{Coïncidence au présent} \quad \theta(\tau = 0) = 0 \quad (6)$$

Intégrité des temps courts $\frac{d\theta}{d\tau}\Big|_{\tau=0} = 1$ (7)

Conservation des lois physiques au présent $\frac{d^2\theta}{d\tau^2}\Big|_{\tau=0} = 0$ (8)

Le temps remodelé θ est une fonction tangente au présent au temps relatif habituel τ , et sans courbure au présent. Elle possède aussi deux propriétés mathématiques et philosophiques loin du présent :

$\lim_{\tau \rightarrow +1}(\theta) = +\infty$ (9)

$\lim_{\tau \rightarrow -1}(\theta) = -\infty$ (10)

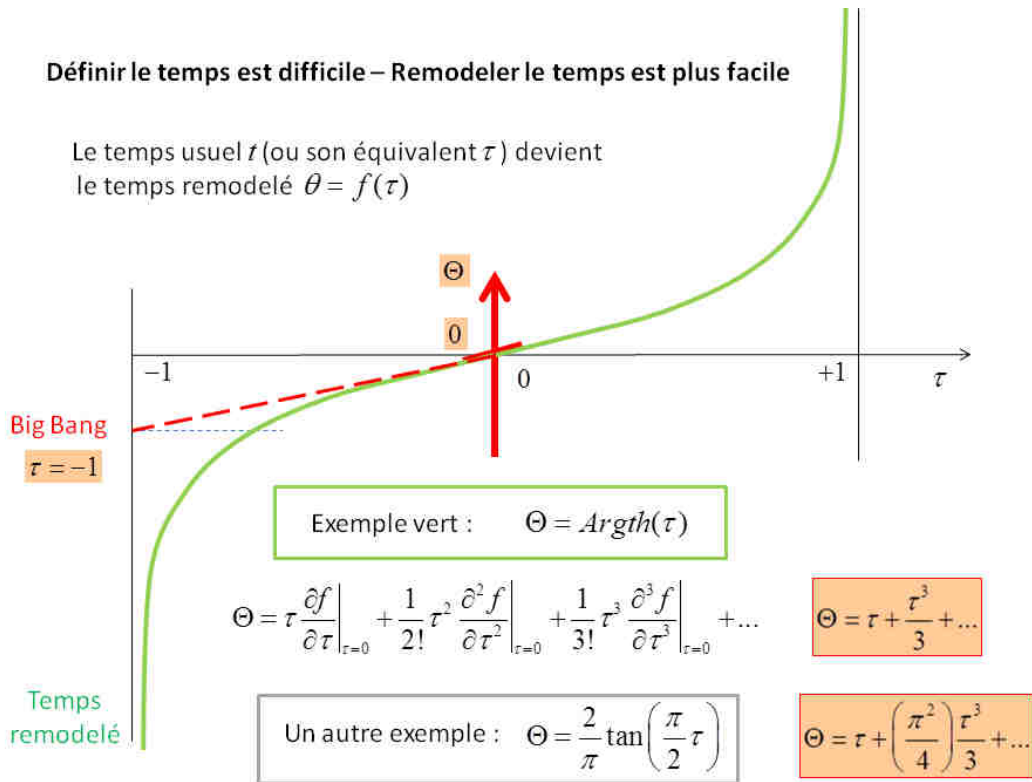


Figure 2 . La courbe en pointillés représente le temps habituel en fonction du temps habituel. La courbe verte représente le temps remodelé en fonction du temps habituel. Les temps représentés sont adimensionnels.

On peut trouver d'autres fonctions qui respectent les conditions (5)-(10), par exemple la fonction θ_2 suivante :

$\theta_2 = \frac{2}{\pi} \tan\left(\frac{\pi}{2} \tau\right)$ (11)

Les fonctions qui respectent les conditions (5)-(8) forment un faisceau de courbes $f_i(\tau)$ attachées entre elles au présent en fagot. C'est ce qu'illustre la Figure 3. Ces courbes tangentes entre elles représentent des temps interchangeable pour rendre compte de ce qu'on observe à l'échelle humaine, mais pas pour rendre compte de ce qui sort de notre vasistas. Parmi celles d'entre elles qui

vérifient aussi les propriétés (9) et (10), on trouve en particulier les fonctions réciproques de toute la famille des sigmoïdes⁽¹⁾, très pratiques pour modéliser des interfaces épaisses.

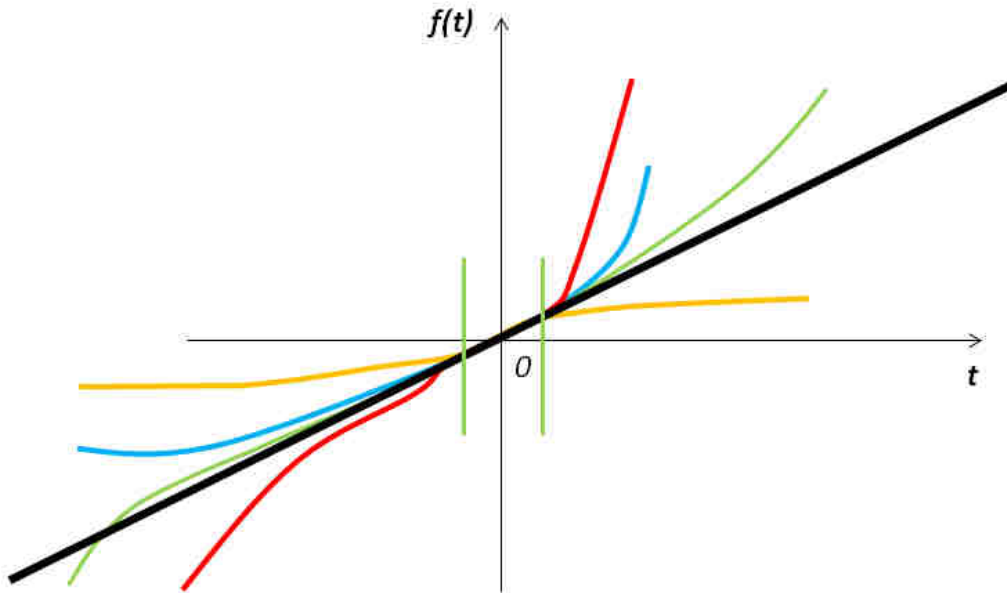


Figure 3 Un faisceau de courbes compatibles avec les équations (5)-(8). La courbe noire est le temps habituel. Toutes ces courbes se confondent dans la fenêtre verte, large de ± 2000 ans.

Revenons à l'exemple particulier décrit par l'équation (2). Le développement du temps remodelé θ autour du présent s'écrit:

$$\theta = \tau + \frac{\tau^3}{3} + \frac{\tau^5}{5} + \dots + \frac{\tau^{2n+1}}{2n+1} + \dots \quad (12)$$

Les dérivées temporelles première et seconde d'une fonction par rapport aux deux temps

adimensionnels τ et θ sont liées entre elles par $\frac{d}{d\theta} = (1 - \tau^2) \frac{d}{d\tau}$; $\frac{d}{d\tau} = \frac{1}{(1-\tau^2)} \frac{d}{d\theta} \frac{d^2}{d\theta^2} =$

$(1 - \tau^2)^2 \left[\frac{d^2}{d\tau^2} - \frac{2\tau}{1-\tau^2} \frac{d}{d\tau} \right]$ et $\frac{d^2}{d\tau^2} = \frac{1}{(1-\tau^2)^2} \left[\frac{d^2}{d\theta^2} + 2\tau \frac{d}{d\theta} \right]$, avec $d\tau = dt/t_0$, ce qui donne pour les

temps dimensionnels : $\frac{d}{dB\tau} = (1 - \tau^2) \frac{d}{dt}$; $\frac{d}{dt} = \frac{1}{(1-\tau^2)} \frac{d}{dB\tau}$; $\frac{d^2}{dB\tau^2} = (1 - \tau^2)^2 \left[\frac{d^2}{dt^2} - \left(\frac{1}{t_0} \right) \left(\frac{2\tau}{1-\tau^2} \right) \frac{d}{dt} \right]$

et $\frac{d^2}{dt^2} = \frac{1}{(1-\tau^2)^2} \left[\frac{d^2}{dB\tau^2} + \left(\frac{1}{t_0} \right) 2\tau(1 - \tau^2) \frac{d}{dB\tau} \right]$

A part dans quelques cas très particuliers (jerk en mécanique, phénomènes critiques dans les transitions de phase, ...), les lois de la physique ne font intervenir que les dérivées première et seconde par rapport au temps. C'est en particulier le cas de la mécanique (vitesse, accélération) et des lois de propagation des ondes (équations de Maxwell). Cela implique qu'au présent (et seulement au présent) les lois de la physique ne sont pas modifiées quand on remplace le temps habituel par le temps remodelé.

Quand on s'éloigne du présent de ± 1000 ans, τ vaut $\pm 10^{-7}$. En passant d'un temps à l'autre, la correction relative sur une dérivée première, par exemple une vitesse, est 10^{-14} , et la correction sur une dérivée seconde est du même ordre. A l'échelle humaine, il semble donc impossible de faire la différence entre les deux définitions du temps.

On pourrait objecter que la précision relative sur la mesure du temps est aujourd'hui meilleure que cela, mais la précision sur la mesure du temps au présent ne dit rien de sa régularité sur une période de 1000 ans.

Ce qui définit implicitement le temps habituel est la considération d'axiomes comme le principe d'inertie, la relation fondamentale de la dynamique et les lois de l'électromagnétisme. On peut véritablement dire que c'est l'inertie du mouvement dans l'espace vide qui fait la régularité du temps, car le temps n'a pas d'inertie, donc pas de régularité propre. La régularité du temps, c'est à dire la constance de son unité de mesure est ainsi étroitement liée à une régularité supposée de l'espace. Ces axiomes définissent en fait le temps par sa relation à l'espace.

Or, ces axiomes résultent uniquement d'observations à une échelle humaine. A l'échelle cosmologique, on force ces axiomes là où ils ne sont plus étayés, et cela entraîne des invraisemblances comme l'expansion des espaces entre les objets sans dilatation des objets eux-mêmes, ou comme la nécessité d'une matière ou d'une énergie invisibles aux effets pourtant dominants, ou comme le concept bien étrange de "début du temps". Je pense donc que nous avons l'entière liberté de distordre ces axiomes quand nous décrivons ce qui n'apparaît pas dans notre vasistas, avec l'espoir que les modèles cosmologiques puissent y gagner en simplicité. Il existe une infinité de manières de distordre les axiomes de la physique aux grandes échelles. Une façon très efficace de le faire est de s'appuyer sur une définition du temps différente, et bien entendu tangente à celle de notre temps habituel à l'échelle humaine. C'est une façon somme toute assez légère de sortir des contraintes inutiles que nous nous imposons quand nous exigeons pour l'inaccessible la conformité aux règles que nous avons construites pour représenter l'accessible, la caverne de Platon étant notre refuge naturel.

Il est certainement plus facile d'être entendu en proposant une alternative qu'en contestant le bien fondé d'un concept aussi bien installé que la régularité du temps. Et comme maintenant nous avons deux temps candidats, nous pouvons nous demander lequel des deux est le bon, ou plus modestement lequel est le meilleur.

Méthode

Supposons que nos lois de la physique soient vraies sur BT (ou θ) plutôt que sur t (ou τ). Quelles sont alors les erreurs introduites en les appliquant sur t ?

Principe d'inertie

Supposons par exemple que le principe d'inertie s'applique au temps remodelé θ . Alors, en l'absence de tout champ de force :

$$\frac{dx}{dBT} = Y = Cste$$

$$\frac{d^2x}{dBT^2} = 0$$

En exprimant les choses sur le temps habituel, on obtient :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{(1-\tau^2)} Y \quad (13)$$

et :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{2\tau Y}{t_0(1-\tau^2)^2} \quad (14)$$

Une vitesse constante au fil des âges sur BT est ralentie sur t (τ est négatif vers le passé), pour atteindre son minimum au présent !

Dans les deux cas, l'accélération est nulle au présent, et reste nulle avec une précision de 10^{-25} m/sec.² (si Y est comptée en m/sec.) aux temps courts, c'est à dire dans un présent épais de ± 1000 ans, mais pas dans le passé ou l'avenir très lointains. Le principe d'inertie exprimé au moyen d'un temps n'est plus vrai sur les temps longs quand il est exprimé dans l'autre, sans que cela ne fasse la moindre différence appréciable à l'échelle humaine. Alors, dans ces conditions, qu'est-ce qui fait la légitimité du temps qu'on choisit ? Je ne vois que trois réponses : la simplicité, l'efficacité et le caractère intuitif des modèles qui en résultent. En écrivant les lois de la physique et les définitions des grandeurs physiques, c'est le fonctionnement de notre esprit ou disons globalement notre expérience qu'on projette sur l'extérieur, mais on ne peut le faire que dans notre monde. Pour aller au-delà, on peut prolonger strictement ces modèles et définitions qui collent à notre échelle, avec comme résultat beaucoup de complexité et d'incohérences (Expansion, Big Bang, Energie noire, etc.) ou bien s'autoriser à redéfinir les choses autrement, sous la contrainte qu'elles convergent vers des choses vérifiables à notre échelle. C'est exactement ce qui est fait ici avec le temps.

Principe fondamental de la dynamique (PFD).

C'est une loi plus large que le principe d'inertie qui n'en est qu'un cas particulier. Il décrit comment une force f appliquée à un mobile de masse m en modifie la trajectoire. On postule comme précédemment que c'est sur le temps remodelé que ce principe est valide. Dans ce cas on écrira :

$$f = m \frac{d^2x}{dBT^2} = \frac{1}{t_0^2} m \frac{d^2x}{d\theta^2}$$

Exprimée sur le temps habituel, cette équation devient :

$$f = m(1 - \tau^2)^2 \frac{d^2x}{dt^2} - m \frac{2\tau(1-\tau^2)}{t_0} \frac{dx}{dt} \quad (15)$$

Rappelons que τ est négatif vers le passé, et soulignons que t_0 , qui n'est plus l'âge de l'univers dans le temps remodelé, est traitée dans ces équations comme une constante, et joue le rôle d'une unité. Ainsi, l'expression sur t de la relation fondamentale de la dynamique vraie sur BT se traduit par l'apparition d'un terme de friction inertiel quand on s'enfonce trop dans le passé, provenant directement de la non régularité de la mesure t du temps.

Le signe de ce terme non harmonique est inversé quand on part vers le futur. Cette asymétrie qui apparaît entre passé et futur introduit la flèche du temps dans nos équations de la mécanique réécrites sur le temps habituel. On peut attribuer l'irréversibilité du temps au changement de signe de la courbure de $\theta(\tau)$ en $\tau = 0$. Le fait que la coordonnée $BT = 0$ du présent soit toujours fixe, le temps BT s'étendant de part et d'autre, est très propice au traitement formel de l'irréversibilité.

Equations de Maxwell

De la même manière, les équations de Maxwell peuvent être considérées vraies sur BT plutôt que sur t . Comme pour le PFD, le remodelage du temps se traduit par des facteurs supplémentaires dans les dérivées temporelles par rapport à t , et les équations de propagation des champs électromagnétiques réécrites sur t qui en résultent se singularisent par l'apparition d'un terme non harmonique.

En supposant les équations de Maxwell vraies sur le temps BT , la propagation du champ électrique en l'absence de charges et de courants est décrite par :

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial BT^2} = 0$$

La solution sur BT (onde plane monochromatique) est :

$$E(r, BT) = E_0 \exp j(kr - \omega BT)$$

, avec $k = \frac{\omega}{c}$

En utilisant le développement limité de θ rappelé dans l'équation (12), elle s'écrit ainsi sur le temps habituel :

$$E(\vec{r}, \tau) = E_0 \exp j \left[kr - \omega t_0 \left(\tau + \frac{\tau^3}{3} \right) \right] \quad (16)$$

, soit :

$$E(\vec{r}, t) = E_0 \exp j \omega t_0 \left(1 + \frac{\tau^2}{3} \right) \exp j \left[kr - \omega \left(1 + \frac{\tau^2}{3} \right) t \right] \quad (17)$$

Red shift

Une lumière émise autrefois(*) avec une pulsation ω est donc vue au présent comme une lumière de pulsation $\omega \left(1 + \frac{\tau^2}{3} \right)$. La pulsation apparente diminue donc au cours du temps comme $\frac{\tau^2}{3}$, et sa longueur d'onde apparente augmente comme $-\frac{\tau^2}{3}$:

$$\frac{\Delta \omega}{\omega} = \frac{\tau^2}{3} \quad (18)$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = -\frac{\tau^2}{3} \quad (19)$$

Si on utilise le temps habituel au lieu du temps remodelé, la longueur d'onde apparente de la lumière reçue augmente donc avec la durée de sa propagation. C'est le Red Shift. Cette formule a été obtenue en utilisant le développement limité de θ . Elle ne s'applique donc pas telle quelle à

l'estimation de l'âge des objets les plus lointains. En utilisant la fonction complète, on obtiendrait par exemple $z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 1100$ (fond diffus) pour un univers vieux de $t = 40$ millions d'années tandis qu'un décalage $z = 6,4$ (quasar les plus éloignés) correspondrait à un âge de $t = 2,4$ milliards d'années.

Comparées aux valeurs couramment admises, qui dépendent d'ailleurs du modèle cosmologique choisi, ces estimations ne sont pas ridicules. Il faut souligner qu'elles résultent uniquement d'un remodelage du temps, que celui-ci est arbitraire sans paramètre ajustable, à valeur d'exemple, et qu'elles ne présupposent aucun modèle cosmologique.

Métrie de l'espace-temps

Poursuivant avec la même méthode, nous écrivons maintenant la métrie de l'espace-temps de Minkowski rappelée dans l'équation (1) sur le temps remodelé BT

$$\Delta\Sigma^2 = c^2\Delta BT^2 - \Delta l^2$$

et nous regardons ce que devient cette métrie quand on l'exprime avec le temps habituel t . On trouve immédiatement, avec trois écritures différentes :

$$\Delta\Sigma^2 = \frac{1}{(1-\tau^2)^2} \{c^2\Delta t^2 - [(1-\tau^2)\Delta l]^2\} \quad (20)$$

$$= c^2 \left(\frac{\Delta t}{1-\tau^2} \right)^2 - \Delta l^2 \quad (21)$$

$$= \left(\frac{c}{1-\tau^2} \right)^2 \Delta t^2 - \Delta l^2 \quad (22)$$

La première écriture fait apparaître une expansion de l'univers maximale au présent qui s'inverse vers le futur, ainsi qu'une renormalisation de $\Delta\Sigma^2$. Par comparaison avec l'équation (2), on peut rapprocher $1 - \tau^2$ du facteur d'expansion habituel $a(t)$.

La seconde écriture fait apparaître une contraction alternative du temps jusqu'au présent, suivie d'une dilatation vers le futur. Le présent apparaît alors comme le point de contraction maximale du temps.

La troisième écriture enfin fait apparaître un ralentissement de la vitesse de la lumière jusqu'au présent, suivi d'une ré-accélération vers le futur. Elle est à rapprocher des modèles dits "de lumière fatiguée".

Ainsi, le simple fait d'associer les lois de la physique à BT plutôt qu'à t suffit à faire apparaître les artifices habituels d'expansion/contraction de l'univers lorsqu'on exprime ces lois sur t . Un univers qui ne s'expand pas quand on le décrit avec BT se distord d'une manière ou d'une autre quand on le décrit avec t . Or, rappelons-le, aucun support expérimental ne nous permet de choisir un temps plutôt que l'autre, c'est à dire de tester la régularité du temps.

Temps remodelé et temps conforme

Dans un modèle cosmologique d'univers homogène et isotrope, dit univers de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, la métrie de l'espace temps s'écrit:

$$\Delta s^2 = c^2 dt^2 - a^2(t)g_{ij}dx^i dx^j \quad (23)$$

, t désignant le temps propre d'un observateur attaché au moyen de coordonnées d'espace constantes à cet univers, et le tenseur g_{ij} décrivant le type de géométrie de l'espace, avec $g_{ij} = \delta_{ij}$ (Kronecker) pour un espace de courbure nulle.

On introduit parfois le changement de variable $d\eta = dt/a(t)$ qui permet de réécrire cette métrique :

$$\Delta s^2 = a^2[t(\eta)](c^2 d\eta^2 - g_{ij}dx^i dx^j)$$

Le temps ainsi redéfini est appelé temps conforme par ce qu'il permet de retrouver à un facteur près la métrique de Minkowski pour un univers plat. Par intégration, on peut expliciter η :

$$\eta(t) = \int_0^t \frac{dt}{a(t)}$$

Fidèle à notre méthode, nous postulons que la métrique donnée par l'équation (23) s'applique au temps BT :

$$\Delta \Sigma^2 = c^2 dBT^2 - A^2(BT)g_{ij}dx^i dx^j \quad (24)$$

, et nous la réécrivons sur le temps t , en prenant le soin de poser $\alpha(t) \equiv A(BT)$, $\Delta s^2(t) \equiv \Delta \Sigma^2(BT)$. Il vient :

$$\Delta \Sigma^2 = \left[c^2 \frac{dt^2}{(1-\tau^2)^2} - \alpha^2 g_{ij}dx^i dx^j \right]$$

, soit :

$$\Delta \Sigma^2 = \alpha^2(t) \left[c^2 \frac{dt^2}{(1-\tau^2)^2 \alpha^2(t)} - g_{ij}dx^i dx^j \right]$$

Le temps conforme est maintenant :

$$\eta(t) = \int_0^t \frac{dt}{(1-\tau^2)\alpha(t)} \quad (25)$$

, avec $\tau = \frac{t}{t_0} - 1$, soit :

$$\eta(t) = t_0 \int_0^t \frac{dt}{t(2t_0 - t)\alpha(t)}$$

En réécrivant :

$$\Delta \Sigma^2 = \frac{1}{(1-\tau^2)^2} [c^2 dt^2 - (1-\tau^2)^2 \alpha^2(t)g_{ij}dx^i dx^j] \quad (26)$$

, le produit $(1-\tau^2)\alpha(t)$ apparaît très proche du taux d'expansion $a(t)$ apparaissant dans l'équation (23). La métrique est cependant normalisée différemment. On peut donc identifier Δs et $(1-\tau^2)\Delta \Sigma$, Δs et $\Delta \Sigma$ représentant des grandeurs physiques et pas des fonctions.

On voit donc que si le temps remodelé est le bon, l'erreur faite en considérant le temps habituel comme "régulier" contribue largement à la construction du facteur d'expansion. Dans la mesure où le temps remodelé dilue le Big Bang dans l'éternité (Eq. 10), il est même légitime de se demander si rapporter un facteur d'expansion de l'espace est encore bien nécessaire, voire bien autorisé.

On le supprime "pour voir" en posant $A(BT) = 1$. Dans ce cas, il reste quand même un facteur d'expansion factice $(1 - \tau^2)$ dans le terme spatial de la métrique transcrite sur t au lieu de BT . La figure 4 compare sa représentation graphique avec celles de deux modèles de référence, les modèles de Friedmann pour les univers de pures poussières et de pures radiations, qui donnent respectivement $a(t) = (t/t_0)^{2/3}$ et $a(t) = (t/t_0)^{1/2}$. Les trois courbes présentent de fortes similarités. Il est tentant d'identifier complètement ce facteur $(1 - \tau^2)$ au taux d'expansion habituel, car cela économise l'hypothèse d'une expansion physique. Ce serait abusif à ce stade compte tenu du caractère arbitraire de notre fonction θ , mais la démarche semble qualitativement prometteuse. Chercher au cas par cas une fonction θ qui reproduise les caractéristiques du modèle d'expansion qu'on souhaite reproduire devrait être un exercice productif.

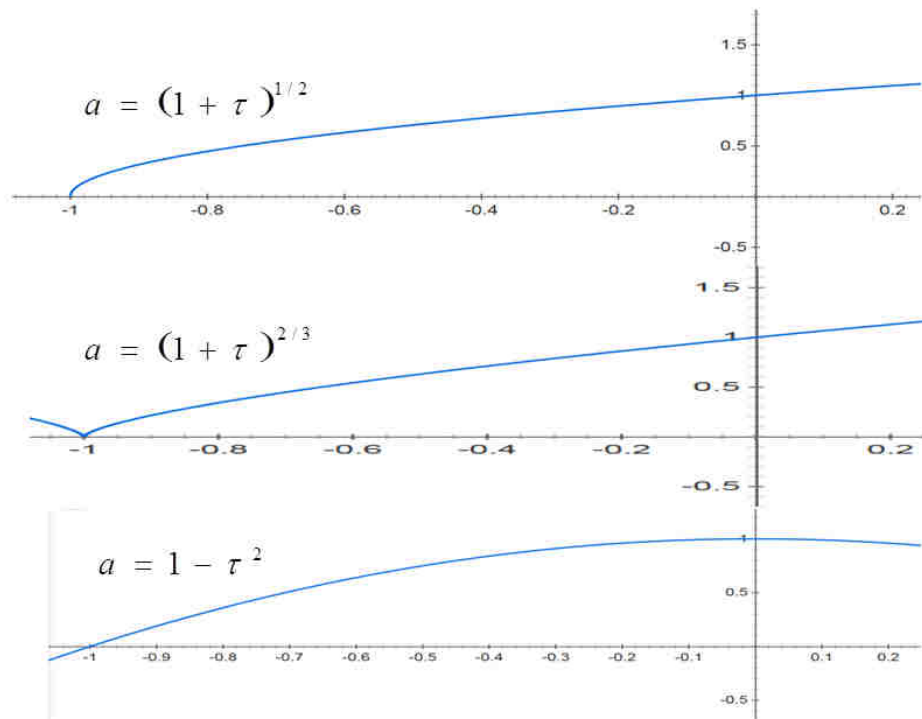


Figure 4 Taux d'expansion de l'univers selon Friedman, et taux d'expansion apparent en supposant un mauvais étalonnage de notre temps pour décrire les phénomènes cosmologiques.

Vitesse de la lumière

Revenons maintenant au plus simple du plus simple, la base de toute la relativité : la constance de la vitesse de la lumière. La trajectoire d'un photon dans l'espace-temps correspond à $\Delta s = 0$ dans les métriques (c'est à dire dans les mesures) précédentes, d'où il vient (en se restreignant à un univers

homogène, isotrope et plat) $c = adL/dt$. Ainsi, la vitesse de la lumière est constante, mais pas trop, et la faute en est rejetée sur l'espace qui n'en finit pas de se dilater. Mais selon notre option, c'est $\Delta\Sigma$ et non Δs qui est nul. Donc on doit écrire $c = AdL/dBT$, ce qui devient sur t :

$$c = \frac{\alpha(1-\tau^2)dL}{dt} \quad (27)$$

Cette formule concentre toutes les discussions du paragraphe précédent. On y retrouve toutes les interprétations possibles : lumière fatiguée, expansion de l'espace sur le temps long, remodelage du temps. Soulignons que si le remodelage du temps peut apparaître au premier regard comme une alternative symétrique à l'expansion de l'espace, il en est par nature très différent. En effet, c'est une bijection du temps sur lui-même, une simple façon de redistribuer sa régularité, alors que l'expansion de l'univers introduit un couplage entre les mesures de temps et d'espace. De mon point de vue, ce couplage s'articule d'ailleurs assez mal avec le lien qui existe déjà par $c = Cste$. Le remodelage du temps affecte les lois de la physique à travers toutes les dérivées temporelles, alors que l'expansion temporelle de l'espace n'affecte que le lien entre les dérivées spatiales et temporelles, dans les équations de diffusion ou de propagation par exemple.

Il est bien tentant de postuler $\alpha = 1$ pour faire apparaître le taux d'expansion usuel a comme le pur produit d'une définition inappropriée du temps, mais tout ce que démontre notre exemple particulier est (déjà) qu'un remodelage du temps affecte lourdement le facteur d'expansion.

Discussion

Sur un million d'années, le temps θ et la durée Δt sont identiques à mieux que le dix-millième près. En réduisant le vasistas à la fenêtre des évènements couverts par les mesures humaines (1000 ans), les deux temps se confondent avec une précision relative meilleure que le dix-millionième. La différence est imperceptible. Par une sorte d'effet papillon, elle se manifeste par contre de façon spectaculaire aux échelles cosmologiques, les modèles pour ces échelles n'étant que des prolongations des lois établies dans le vasistas. En remplaçant t par BT , on bouleverse ces modèles, mais sans remettre en cause ce qui en est vérifiable par leur confrontation aux données du vasistas. Le choix devient donc arbitraire. C'est un choix de confort, un choix pratique, un choix philosophique. On peut choisir le temps qui nous donnera les modèles cosmologiques les plus confortables, les plus conformes à l'intuition. Ainsi, le temps choisi ici, qui peut facilement être plus finement ajusté, semble capable d'économiser le Big Bang et l'expansion de l'univers. Il explique le Red Shift qui les motive. Il économise aussi la finitude de la taille de l'univers qui en est une conséquence directe car une expansion sur une durée finie ne peut conduire qu'à une taille finie. Il introduit une asymétrie entre passé et futur, brisant sans catastrophe la symétrie temporelle des lois de la physique (l'irréversibilité se manifeste dans les équations dynamiques avec les dérivées secondes), et s'appuie sur un seul point fixe : le présent. Cette caractéristique est très importante, parce qu'elle affecte notre représentation du temps, en remplaçant l'image d'un présent qui se déplace sur l'axe fixe et normé du temps par celle d'un temps qui se déploie de part et d'autre du présent, et qui en émane, réajustant au cours des âges ses deux ailes (de géant) à partir du présent. Ce temps se reconstruit tout entier à chaque instant. Il devient une caractéristique du présent. Il décrit l'éloignement du présent. Aussi, ce temps redevient infini, et cela en libère le concept de son carcan de la mesure. Un temps éternel réduit ses exigences à une relation d'ordre, une continuité et une seule origine : le présent^(*). Incidemment, la seconde propriété est la plus essentielle car si le temps reste d'une

manière ou d'une autre la "mesure du changement", la continuité impose avant tout l'absence de changement.

On pourrait m'objecter que le remodelage du temps n'est qu'un banal changement de variable. Ce serait partiellement correct car $BT = f(t)$ décrit bien un isomorphisme, mais ce serait oblitérer l'essentiel : ce qui fait la régularité du temps est la conformité de sa mesure avec les axiomes dynamiques⁽²⁾. Or, notre changement de variable s'accompagne d'un changement de ces axiomes, qui sont compatibles ou bien avec un temps, ou bien avec l'autre, mais pas avec les deux à la fois, et que nous choisissons de conserver intacts sur le temps remodelé. Ainsi, la définition du temps mesurable peut être vue comme un paramétrage fonctionnel des axiomes de la physique.

La liberté nouvelle prise avec les lois de la physique ne modifie rien à notre échelle, mais réduit les dimensions fantastiques des modèles cosmologiques qui résultent de la prolongation imprudente à une toute autre échelle des modèles éprouvés à l'échelle humaine. Pour décrire les phénomènes astrophysiques, il faut invoquer l'équation de la relativité générale, qui s'écrit aussi bien (ou aussi difficilement) sur BT que sur t . La solution en est une métrique, qui s'écrira elle aussi sur BT avant d'être éventuellement convertie sur t . Mais l'univers de Newton suffit à l'analyse et à la critique du temps remodelé. Le temps dont on parle ici est toujours bien sûr le temps cosmologique.

Pour conclure, il est étonnant de réaliser à quel point des concepts aussi essentiels que l'espace, le temps, l'infini ou l'éternité tiennent à aussi peu de choses. Autant en décider sans complexe, car de toute façon, consciemment ou non, on en décide.

Références

(1) https://en.wikipedia.org/wiki/Sigmoid_fonction

(*) Le terme "autrefois" ne présuppose aucune métrique. Une relation d'ordre suffit. "Autrefois" fait partie du langage commun à toutes les mesures du temps envisageables.

(2) Nathalie Deruelle et Jean-Philippe Uzan, "Théories de la Relativité", Belin, Paris 2014