

LE TEMPS DANS LA COSMOLOGIE CONTEMPORAINE (x)

par Stamatia MAVRIDES

Observatoire de Paris

Section d'Astrophysique

F. 92190 MEUDON

(manuscrit reçu le 7 Mars 1980)

Si la notion de temps universel, objectif, s'écoulant de la même manière pour tous les systèmes physiques, indépendamment de l'observateur fut difficile à dégager, elle constitue actuellement la trame de toute la cosmologie contemporaine.

Le Temps Atomique International (TAI), le Temps Universel Coordonné (TUC) peuvent nécessiter des Conférences, des discussions internationales, des conventions, des décisions. Le Temps cosmologique, lui, semble être sans mystère.

Paradoxalement la 1ère seconde de l'univers quand les atomes n'existaient pas<sup>(1)</sup>, semble moins difficile à concevoir que l'utilisation du système TUC où il a fallu, par exemple, le 1er Janvier 1972 effectuer un saut de temps négatif de - 0,1077577 seconde.

(x) Conférence prononcée à la TABLE RONDE SUR LE TEMPS tenue le 11 Juin 1979 au Centre Georges Pompidou dans le cadre de l'Année Einstein et organisée par la Fondation Louis de Broglie et le Séminaire Philosophie et Mathématiques de l'E.N.S.

(1) "la température de l'univers était si élevée ( $T > 10^{10}$  °K) qu'il y avait un équilibre thermodynamique complet entre photons, neutrinos, électrons, positrons, neutrons, protons, divers hyperons et mesons, et peut-être même des gravitons"

Disparue irrémédiablement en Relativité Restreinte, la notion de temps universel s'est réintroduite subrepticement en Cosmologie Relativiste. Les notions d'instant initial, de durée, de distinction passé-futur apparaissent alors comme essentielles.

En Relativité Restreinte, le temps n'est susceptible que de définitions *locales*. Il dépend de l'état de mouvement et de la position des horloges des divers observateurs lorentziens. Ce temps relativiste "est une grandeur si étroitement liée au mouvement et à l'espace qu'il existe autant de temps différents locaux, que de mouvements et de lieux différents" (1).

#### L'hypothèse du temps cosmique : le passé

L'existence même de la Relativité Restreinte repose sur le fait qu'il y a une vitesse limite des mouvements et des signaux. Ceci entraîne une conséquence importante pour la Cosmologie : on ne peut sonder de vastes espaces sans explorer également d'énormes intervalles de temps. En particulier, toute possibilité de connaissance d'objets très éloignés est liée à celle des processus intervenant sur ces objets, *il y a très longtemps*. Des ambiguïtés apparaissent alors sur les définitions même de distances et de temps, tandis que de nouvelles questions surgissent sur ce passé lointain. Si (comme on l'admet quasi généralement à présent) l'univers est dans un état d'évolution, la lumière provenant de régions éloignées de l'espace doit nous renseigner aussi sur *l'histoire initiale de l'univers*.

La nature même du "commencement", l'origine de toute matière, et de toute radiation est une controverse qui a passionné les foules, scientifiques et grand public, pendant de nombreuses années. Car "dès qu'un problème touche ou semble toucher à la métaphysique, tout le monde se croit compétent" (H. Arzéliès),

Trois types de réponses ont été données quant à la nature du "commencement" de l'univers (cf H. Bondi) :

a) le "commencement" est un *point singulier*, à la frontière de la physique. Toute question s'y rapportant n'est plus du domaine de la physique

b) le "commencement" est un *état particulier simple*. Il contient les germes de la croissance et de l'évolution qui démarre à un moment donné. Par une chaîne de processus compliqués mais descriptibles physiquement, l'univers se transforme en l'état actuellement observable.

(1) R. LENNUIER L'idée de temps dans la Physique Moderne.

c) *Il n'y a pas de "commencement"*. A grande échelle, l'univers est ou bien stationnaire, ou bien cyclique mais son âge est infini.

Actuellement, le 1er point de vue est pratiquement abandonné.

Il semble que l'observation ait permis de rejeter la théorie de l'état stationnaire, avec création continue de matière (le steady-state ne peut rendre compte du 3°K, non plus que des effets évolutifs des radiosources et quasars : 50 fois plus de quasars à  $Z \sim 2$  qu'à  $Z \sim 0,5$ ).

C'est le 2e point de vue qui prévaut, la possibilité d'un univers cyclique n'étant pas exclue.

#### L'hypothèse du temps cosmique : définition

L'introduction d'un temps cosmique est nécessaire si l'on adopte un *principe cosmologique*. Selon ce principe, l'univers, à l'exception d'irrégularités locales, présente en tout point le même aspect. L'utilité d'un tel principe ne pose pas de question. A une échelle suffisamment vaste, il est justifié par l'observation. Il signifie que toutes les positions spatiales sont équivalentes (principe Copernicien) : l'univers est homogène et isotrope, une variabilité dans le "temps" étant admissible. On peut considérer cette hypothèse comme un principe (Copernic) ou simplement comme une hypothèse de travail (une structure uniforme de l'univers, à grande échelle, est la plus simple possible). *Les étapes de l'évolution de cet univers homogène sont marquées par le temps cosmique*.

L'ensemble discontinu des galaxies, amas de galaxies, etc. est remplacé par un fluide continu, par une sorte de gaz parfait. L'observateur lié à une "molécule" (amas de galaxies ?) de ce fluide est dit "observateur fondamental". Or, chaque observateur fondamental voit un univers *changeant* mais qui présente le même aspect à tous (ppe cosmol. P.C.). Pour qu'il en soit ainsi (cf Bondi), l'observateur A doit pouvoir définir un instant  $t_A$  de son horloge où l'univers présente le même aspect décrit par B à l'instant  $t_B$ . A et B synchroniseront alors leurs horloges ( $t_A = t_B$ ), l'univers lui-même servant d'instrument de synchronisation". Si l'horloge d'un de ces observateurs marque son temps propre, alors, par le P.C., toutes les horloges mesurent les temps propres de chaque observateur. Ainsi s'introduit un temps cosmique ou universel.

Alors qu'en Relativité Restreinte, un ensemble d'observateurs en mouvement arbitraire ne peuvent trouver de temps commun, les observateurs du fluide cosmologique ont un mouvement tel qu'il existe un temps "cosmique" ou universel.

Ce mouvement particulier a été précisé pour la première fois par H. Weyl en 1923. Selon ce qu'on désigne par "le postulat de Weyl", les particules du fluide cosmologique (galaxies ou amas de galaxies) sont situées, dans l'espace-temps, sur un faisceau de géodésiques qui divergent à partir d'un point situé dans le passé (infiniment éloigné ou non) : c'est le "big bang".

Il s'agit donc d'un fluide hydrodynamique, dont les lignes de courant ne se coupent pas (sauf au point singulier du big bang). L'observation nous indique que le mouvement de ce fluide est une expansion. Un tel faisceau de géodésiques doit posséder un ensemble d'hypersurfaces orthogonales à toutes les lignes de courant. On choisit ces hypersurfaces comme surfaces  $t = \text{Cte}$  (les 3 autres coordonnées étant constantes le long des géodésiques). La coordonnée  $t$  joue alors le rôle d'un temps cosmique universel. Elle permet la définition d'une simultanéité à l'échelle de l'univers.

Ainsi, à la multiplicité des temps propres locaux de la Relativité Restreinte se superpose, à grande échelle, un temps global cosmique universel, celui des observateurs "fondamentaux". C'est une définition statistique qui laisse subsister, dans chaque portion de l'espace-temps, la possibilité d'irrégularités locales et de mouvements autonomes.

Remarques : Il semble qu'on ait rejoint, par le biais de la Cosmologie, le concept Newtonien de Temps Absolu. Néanmoins, il existe une différence profonde, essentielle, entre le temps cosmique relativiste et le temps absolu Newtonien de la mécanique classique. Le temps Newtonien, universel, implique que le mouvement d'un système de référence spatial n'influence pas le cours des événements qui s'y déroulent (M.A.T. p.92). "Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur, coule uniformément et s'appelle durée" (Principia). Au contraire, la possibilité de définir un temps cosmologique universel repose inéluctablement sur une classe de mouvements très particuliers (expansion hydrodynamique -ou contraction- à partir d'un point singulier) d'un univers idéalisé (fluide continu homogène et isotrope).

#### Temps et Matière

Peut-on fonder le concept du temps sans faire appel à la

notion de substance ?

Cette question aux allures philosophico-épistémologiques trouve en cosmologie, une arène de choix,

Le problème s'est posé, en cosmologie relativiste, à propos de l'Univers de de Sitter. Ce modèle, proposé en 1917, est une solution des équations d'Einstein avec constante cosmologique. Sa particularité originale est d'être *vide*. Néanmoins, sa structure riemannienne est telle que deux particules d'épreuve, introduites en deux points *quelconques*, vont se fuir indéfiniment. Elles cesseront d'être visibles l'une à l'autre quand l'une aura traversé l'horizon de l'autre.

Or, selon Lemaître, dans l'univers vide de de Sitter, le partage entre Espace et Temps est "physiquement indifférent" (Merleau-Ponty p. 58). Leur ségrégation paraît arbitraire. C'est, dit Lemaître "la présence de matière qui a pour effet de déterminer une partition naturelle de l'Univers en espace et temps". La séparation se fait alors d'elle-même.

Très récemment, Mercier, Treder et Yourgrau (On General Relativity, Akademie Verlag Berlin 1979) ont posé la même question. Le temps et la gravitation sont-ils une seule et même chose? La réponse des auteurs est péremptoire mais sybilline.

Pour revenir sur un terrain plus solide, je citerai Einstein lui-même <sup>(1)</sup> : "La signification objective de l'espace et du temps se trouve, en 1er lieu dans le fait que le continuum quadri-dimensionnel est hyperbolique ; de sorte qu'à partir de chaque point il existe des lignes "temporelles" et des lignes "spatiales", c'est-à-dire des lignes pour lesquelles  $ds^2 > 0$ , et d'autres pour lesquelles  $ds^2 < 0$ . Les coordonnées  $x_r$  ne possèdent pas en soi de caractère spatial ou temporel. On peut, afin de conserver nos habitudes de pensée, donner la préférence aux systèmes pour lesquels on a partout :  $g_{44} dx_4^2 > 0$ ,  $g_{11} dx_1^2 + 2 g_{12} dx_1 dx_2 + \dots + g_{33} dx_3^2 < 0$ . A un tel choix, cependant, il ne faut attribuer aucune justification objective. Le caractère "spatial" ou "temporel" est donc réel. Mais on ne peut dire que "par nature" une coordonnée soit temporelle et que les autres soient spatiales".

(1) Einstein, Lettre à Besso n° 27 (p. 87 de la Correspondance Einstein-Besso)

## Age de l'Univers - Big Bang (singularité initiale)

Origine du temps : instant zéro.

Le mouvement d'expansion de l'univers actuel -représenté schématiquement par un fluide homogène peut être extrapolé dans le passé jusqu'à un état de condensation extrême, de singularité initiale : c'est "l'atome primitif" de Lemaître ou encore le Big Bang. L'échelle de temps cosmique est aussi extrapolée jusqu'à cet instant zéro où l'univers se trouve dans un état de densité infinie, à une température infinie également : c'est le Big Bang chaud. On désigne habituellement par "âge de l'Univers" le temps écoulé depuis le Big Bang jusqu'au temps présent d'observation.

Depuis les nouvelles déterminations de distances des galaxies lointaines, la valeur de cet âge s'est allongée ; elle est devenue compatible avec les déterminations d'autres échelles de temps astronomique (âge de la terre, âge des étoiles). L'extrapolation de nos connaissances actuelles d'un échantillon d'Univers sensiblement homogène et isotrope à un état "initial" marquant le début de l'expansion est, à présent, admise par la majorité des astronomes et cosmologistes. Elle permet l'interprétation d'un certain nombre d'observations (rayonnement cosmique à 3°K, abondance en He, deutérium etc.). Elle pourrait mener à quelques tests cruciaux des modèles cosmologiques relativistes.

Mais d'après Einstein lui-même, les équations de champ et même les variables de champ qui y figurent, pourraient ne pas avoir de signification réelle pour de grandes densités de champ et de matière : les équations peuvent n'être pas continues dans de telles régions (1).

D'autre part, l'hypothèse d'homogénéité et d'isotropie (P.C.) qui est à la base des modèles cosmologiques est une idéalisation qui ne peut être étendue aux états très condensés de la matière. Les "irrégularités locales" actuelles ont probablement été plus nombreuses dans le passé.

Enfin l'introduction, à côté de l'expansion de mouvements de rotation ou de distorsion peut modifier énormément l'échelle de temps et même supprimer l'apparition de la singularité ponctuelle.

(1) A. Einstein, The meaning of Relativity p. 123

Ainsi le fait d'extrapoler "imperturbablement jusqu'à l'atome primitif, qui engendre le temps avec l'espace en expansion (M. Besso-Lettre 145, 10 octobre 1945 -à propos d'une conférence de l'abbé Lemaître à Fribourg) est une hypothèse fructueuse mais probablement beaucoup trop naïve.

## Paradoxe cosmologique : les modèles de Gödel

Les modèles étudiés par K. Gödel représentent des univers "tournants". Or, la possibilité d'introduire un "temps cosmique" est liée à l'absence de rotation de la matière. Par conséquent un temps "absolu", universel, n'existe pas dans les modèles de Gödel.

Le 1er modèle proposé par Gödel était non statique, mais stationnaire ( $g_{00} \neq 0$ ,  $\partial_0 g_{\alpha\beta} = 0$ ) et doué de rotation. A cause de ce caractère stationnaire, il ne donne lieu à aucun décalage systématique de fréquences et ne permet pas, par conséquent, une interprétation de l'effet Hubble. Par la suite, K. Gödel a étudié des modèles comportant à la fois rotation et expansion. Dans ces derniers modèles, il est alors possible de rendre compte du décalage spectral vers le rouge des galaxies.

Mais revenons au 1er modèle de Gödel dont certaines propriétés, a priori paradoxales, sont intéressantes.

Une des conséquences très importantes de ce modèle est liée à sa rotation : la matière tourne partout par rapport à un système local d'inertie. Si l'on utilise la loi de conservation du moment angulaire, cette propriété entraîne que la période moyenne de rotation des systèmes galactiques est de l'ordre de  $5.10^6$  ans. Or, cette valeur est en assez bon accord avec les observations dont on disposait en 1949. Malgré la grande généralité du phénomène de rotation dans l'univers, on a écarté, avec beaucoup de discrétion, de tels modèles cosmologiques.

Peut-être leurs propriétés insolites et paradoxales en sont-elles la cause ? Or K. Gödel, qui était logicien, avait déterminé tout exprès une métrique riemannienne, solution cosmologique des équations d'Einstein, pour démontrer des conséquences qui posent dans toute son ampleur le problème de la philosophie du Temps. Sa solution ad hoc est compatible avec un certain nombre d'observations astronomiques (rotation des galaxies). Gödel a voulu montrer (cf. K. Gödel dans Einstein, Philosophe) que la Relativité d'Einstein impliquait une *philosophie idéaliste du temps*. (Merleau-Ponty). Il s'est efforcé d'apporter "une preuve sans équivoque pour la thèse de ces philosophes qui, comme Parménide, Kant et les idéalistes modernes (Mc Taggart - "The unreality of Time"), nient

l'objectivité du changement et le considèrent comme une illusion ou une apparence due à notre mode spécial de perception". En effet, "l'existence d'un passage objectif du temps signifie que le réel peut être divisé en une suite de couches de "maintenant" venant successivement à l'existence. Or, d'après la théorie de la Relativité, le clivage des couches ne peut être que relatif à l'observateur choisi, mais le concept d'existence lui-même ne supporte pas la relativité". Si le passage du temps (le clivage) cesse d'être absolu, il ne peut plus être objectif. La cosmologie contemporaine, avec son temps cosmique, échappe à cette conséquence.

Gödel a donc construit un modèle homogène, de densité moyenne non nulle, (contrairement à celui de de Sitter) où l'introduction d'un temps universel est impossible. On peut définir, en chaque point, une direction positive de temps et une orientation temporelle de la ligne d'univers de chaque particule matérielle ; mais il n'existe aucun ordre temporel uniforme pour tous les événements, ordre qui serait conforme à tous les ordres individuels : un temps absolu n'existe pas.

Chaque ligne d'univers d'une particule matérielle est une ligne ouverte de longueur infinie, qui ne revient jamais en aucun de ses points.

Il existe néanmoins, dans ce modèle de Gödel, des lignes fermées du genre temps. On peut donc, en suivant ces lignes, revenir dans le passé, sans parcourir le temps à l'envers. Il est donc théoriquement possible, dans ce modèle, de voyager dans le passé ou encore d'influencer le passé. Voyage impraticable, en fait, étant donnée l'énormité des distances à parcourir et des vitesses fantastiques nécessaires. Mais voyage *théoriquement possible* donc s'accordant assez mal avec le principe de causalité. Gödel a donc démontré la compatibilité avec les lois relativistes de modèles d'univers "où un passage objectif du temps n'a pas lieu ... On est alors conduit à admettre que la réalité effective du passage du temps "absolu" dépend d'un arrangement particulier de la matière et de son mouvement.

La réponse d'Einstein à ces paradoxes de Gödel peut convaincre ou non : selon Einstein, c'est la possibilité de transmettre un signal d'un point à un autre qui fixe leur orientation temporelle mutuelle. A très grande distance, ce critère perdrait son sens.

Quoiqu'il en soit, cet "étrange cosmonaute de Gödel qui revient hanter son propre passé, sans jamais remonter le cours du temps" n'a pas fait beaucoup de bruit. Selon les termes de J. Merleau-Ponty, "l'opinion scientifique raisonnable se défendit

plutôt par un assez long silence contre l'indécence de ce voyageur du passé, auprès duquel le célèbre voyageur de Langevin n'est guère qu'un promeneur de banlieue".

Il nous reste à présent, après les lignes de temps fermées, à examiner les lignes de temps ouvertes, de longueur infinie ou non dans les deux sens (que se passe-t-il avant le Big Bang ? Beyond the end of time ? dit Wheeler), *orientées*.

#### Flèche du temps et cosmologie

Qu'il soit lié à notre mode de perception ou bien à une réalité plus profonde, il existe un contraste très net entre *l'orientation irréversible de la variable temps* (du paramètre temps), et la *réversibilité des variables spatiales*. Un grand nombre d'arguments ont été apportés pour lier cette irréversibilité du temps et les modèles cosmologiques en expansion. C'est pourquoi j'évoquerai ce problème ici, mais ne l'aborderai que très brièvement pour seulement poser la question.

Pour l'homme de la rue, "le temps passe" est une expression dont la signification est très claire. "Passé, présent et avenir" ne sont pas une illusion". Par conséquent, subjectivement, le sens de la flèche du temps ne fait aucun doute. Pourquoi donc le monde ne serait-il pas complètement dissymétrique par rapport au passé et au futur ?

Il se trouve que les lois physiques, elles, sont complètement symétriques par rapport au sens du temps : lois de Newton, d'Einstein, électrodynamique de Maxwell-Lorentz, théorie quantique. Toutes ces théories ne font intervenir aucune flèche du temps, il doit pourtant bien y avoir une "action" qui détermine cette flèche du temps.

Habituellement, à ce point, on fait appel à des arguments statistiques ou thermodynamiques : le 2ème principe fondamental serait le seul moyen de distinguer le passé du futur : l'entropie d'un système isolé croît toujours. Ainsi, en considérant deux états d'un système, celui dont l'entropie est plus grande est postérieur à l'autre. Selon Einstein (lettre à Besso 197- 29 juillet 1953 p. 501) "la flèche du temps est complètement liée aux conditions thermodynamiques". Elle n'apparaît pas dans les processus élémentaires. "Si, écrit Einstein, le processus élémentaire dépendait de la flèche du temps, alors l'apparition d'un équilibre thermodynamique serait tout à fait incompréhensible".

"Ce qui se passe en état d'équilibre thermodynamique ne ren-

ferme en tout cas aucune flèche du temps". (Exemple du mouvement brownien : les lois physiques qui déterminent le mouvement sont toutes symétriques par rapport au temps). "La mécanique quantique statistique répond, elle aussi, complètement à l'absence de la flèche des processus élémentaires. Aussi loin que puisse parvenir notre connaissance plus directe des processus élémentaires, on trouve, pour chaque processus, son inverse. Le rayonnement ne fait pas non plus exception.

Dans l'élémentaire, tout processus a son inverse.

Malheur donc à la théorie de la relativité si elle devait pêcher contre ce principe concernant la flèche du temps" (L 192 p.488-8 oct. 1952). Einstein écrit aussi : "(quant à la "flèche") je suis convaincu qu'elle est en relation *seulement* avec les conditions initiales".

Cette question des *conditions initiales* et d'une *interaction avec l'extérieur* est évidemment essentielle. Si on prend un système et si on l'isole complètement pendant assez longtemps, si on prend enfin une série de photos instantanées de ce système isolé, on ne peut plus décider de la séquence des images. "Imagine, écrit Einstein, que l'on ait filmé le mouvement brownien d'une particule, et que l'on ait conservé les images dans leur suite chronologique correcte, pour ce qui concerne le voisinage des images ; seulement on a oublié de noter si la suite temporelle correcte va de A à Z, ou bien de Z à A. L'homme le plus malin sera incapable de trouver la flèche du temps à partir de tout ce matériel" (Einstein, lettre à Besso). Tous les effets internes satisfont à des lois strictement symétriques par rapport au temps. "C'est cette règle que les systèmes initialement isolés, après leur isolement, retiennent puis perdent graduellement la flèche du temps qui fait son apparition dans les définitions statistiques et thermodynamiques. L'entropie d'un système isolé croît toujours est une façon de dire que après qu'il ait été isolé, le système montre encore des changements à partir desquels le sens du temps pourrait être déduit".

Quelle que soit l'échelle du système, il faut passer à une échelle plus grande pour comprendre comment s'instaure la flèche du temps. Ex : passage des particules à l'étude statistique du gaz qu'elles constituent. T. Gold (Structure et évolution de l'univers - 11e conseil de Physique Solvay - Bruxelles 1958) pose alors la question suivante : "Jusqu'à quelle échelle peut-on poursuivre cet argument ? A quelle échelle trouverions-nous une loi dont l'application servirait à déterminer la flèche du temps

pour toutes les échelles plus petites ?

Il est clair que si l'on considère une étoile et si on l'isole par la pensée dans une boîte (!!!) pendant un temps assez long (!), la flèche du temps disparaîtrait. Il n'y aurait aucune raison de s'attendre à trouver quelque chose de différent de ce qui se passe à l'échelle du laboratoire.

En fait, *c'est la possibilité pour le rayonnement de pouvoir s'échapper* qui caractérise une "influence" extérieure et qui confère au système une flèche de temps. Le concept thermodynamique d'énergie libre s'introduit. Produite par une source chaude, cette énergie doit passer à une source froide, et c'est l'espace tout entier (étant donnée la diversité des sources chaudes) qui sert de réceptacle, de source froide.

La possibilité que possède l'univers d'engloutir tout rayonnement le différencie d'une boîte isolée. C'est ce qui permet de définir une flèche du temps pour tout système en contact avec ce gouffre. On peut alors se demander pourquoi l'univers ne réfléchit pas le rayonnement (Olbers). La réponse (un peu rapide) à cette question est fournie par la Cosmologie contemporaine : l'univers est en expansion. C'est, selon Gold, cette expansion de l'univers qui, en fin de compte, serait responsable de la flèche du temps. Le rayonnement, dans l'univers, est presque toujours en expansion violente. Ceci n'est possible que si les objets matériels entre lesquels le rayonnement chemine s'éloignent en raison même de l'expansion de l'univers dans son ensemble. Selon J. Merleau-Ponty, "il y a ainsi une correspondance directe entre le sens temporel indiqué par la croissance de l'entropie -le sens thermodynamique- et le décalage spectral observé des galaxies". Est-ce une simple coïncidence ou bien une identité qui existerait entre la dégradation énergétique et le red-shift des galaxies, entre l'irréversibilité thermodynamique et l'expansion de l'Univers ?

En fait, toute cette argumentation a été fortement et longuement controversée. Dans ce débat sur la relation entre la flèche du temps et la thermodynamique il faudrait citer, outre Boltzmann, Loschmidt et Zermelo, Costa de Beauregard, Whitrow, K. Popper puis Grünbaum etc. etc.

Par exemple, Popper a avancé les deux thèses suivantes :

1) Il existe une base physique, non thermodynamique pour l'anisotropie du temps : ainsi le comportement statistique de l'entropie des systèmes physiques n'est pas le seul fondement de la flèche du temps.

Ex. : Une pierre lancée dans l'eau, produit une onde divergente d'amplitude décroissante autour du point d'impact. Processus irréversible : pas d'onde contractante.

"Bien que la flèche du temps ne soit pas impliquée par les équations fondamentales (lois gouvernant les processus élémentaires), elle caractérise néanmoins la plupart des solutions".

Popper rejette donc l'affirmation selon laquelle "tout processus de mécanique classique ou non-statistique est réversible".

2) La statistique des phénomènes thermodynamiques ne contribue pas du tout à l'existence de cette flèche du temps. Ainsi Popper trouve que la connexion (ou la dépendance) entre la flèche du temps et la tendance au désordre (entropie) maximum est insoutenable.

L'absurdité de cette connexion est évidente, pour Popper, quand on considère l'existence indéniable de fluctuations thermodynamiques.

Quant au passage à l'Univers dans son ensemble et à la Cosmologie, les travaux de Reichenbach, de Grünbaum, etc. montrent que bien des problèmes sont encore très loin d'être résolus : ainsi l'entropie statistique de Maxwell-Boltzmann n'est même pas définie pour un univers spatialement infini.

Notre compréhension de la flèche du temps est donc encore loin d'être claire.

Mais le cours du temps, ce n'est pas uniquement le passage de certains états improbables à d'autres états probables. Temps des choses et temps des hommes ... ou, selon Michele Besso (L 198 p 504),

"Ce n'est pas le passé, dont il nous reste pourtant le vivant souvenir.

Ce n'est pas le futur, dont nous avons le brûlant espoir.

Le présent seul existe - mais, à l'instant même, il disparaît emporté par le néant. Ainsi la vie n'est qu'un souvenir, un espoir, un point"(1).

Cf note page suivante

Et ajoute Besso "Un point, une formule de géométrie différentielle avec quelque chose en plus, justement la flèche, qui ne tend que par secousses vers un équilibre" inéluctable.

## BIBLIOGRAPHIE

H. ARZELIES, Cinématique Relativiste (Gauthier-Villars, Paris 1955)

H. BONDI, Cosmology (Cambridge University Press, 2<sup>d</sup> edit. 1963)

A. EINSTEIN - M. BESSO, Correspondance 1903-1955 (Hermann, Paris 1972)

Albert EINSTEIN, Philosopher-Scientist (P.A. Schilpp ed. ; Tudor Publ. Co., New York 2<sup>d</sup> ed. 1951)

J. MERLEAU-PONTY, Cosmologie du XXe siècle (Gallimard, Paris 1965)

The Philosophy of KARL POPPER, (The library of living philosophers ; P.A. Schilpp ed. ; Vol XIV, The Open Court Publ. Co., La Salle, Illinois, 1974)

M.A. TONNELAT (M.A.T.), Histoire du Principe de Relativité (Flammarion, Paris 1971).

(1) Cos'è la vita ?  
Il passato non è, ma ce lo finge  
La viva rimembranza ;  
Il futuro non è, ma ce lo pinge  
La credula speranza ;  
Il presente sol è, ma in un baleno  
Passa del nulla in seno ;  
Tal che la vita appunto  
E' una memoria, una speranza, un punto

Tommaso Sgricci (1788 - 1836)  
(poète toscan)