



**HAL**  
open science

## Du temps physique au temps cosmologique: le rétablissement de la flèche du temps

Hervé Albert-R-E Barreau

► **To cite this version:**

Hervé Albert-R-E Barreau. Du temps physique au temps cosmologique: le rétablissement de la flèche du temps. Du temps physique au temps cosmologique: le rétablissement de la flèche du temps, Oct 2007, Cerisy-la-Salle, France. pp.25-43. halshs-00362433

**HAL Id: halshs-00362433**

**<https://shs.hal.science/halshs-00362433>**

Submitted on 18 Feb 2009

**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.

## **DU TEMPS PHYSIQUE AU TEMPS COSMOLOGIQUE:**

### **LE RÉTABLISSEMENT DE LA FLÈCHE DU TEMPS**

L'idée d'une flèche du temps, même si elle semble évidente une fois qu'on la situe dans une représentation globale et adéquate du temps, ne s'impose pas d'elle-même. Elle suppose d'abord qu'on dispose d'une échelle universelle du temps, grâce à laquelle il est possible d'ordonner tous les événements connaissables, selon qu'ils sont successifs ou simultanés. Si l'on dispose, en effet, d'une telle échelle, alors l'idée de temps et celle d'un devenir global universel peuvent fusionner. Mais il y a globalement un devenir, quelles que soient les vicissitudes ou même les retours d'évolutions particulières, qu'à la condition suivante: il faut qu'un instant temporel quelconque qui se définit comme l'état momentané commun à toutes ces évolutions, possède une marque propre, un signe distinctif, qui ne revient jamais. Bref l'idée de flèche du temps inclut celle de devenir universel et perpétuellement nouveau, et exclut la possibilité d'un éternel retour. On comprend que cette idée n'ait pas été formulée dans les temps anciens, où l'idée de temps était associée aux cycles astronomiques, qui incitent plutôt à forger l'idée d'un retour éternel. Mais curieusement la science moderne ne lui a guère été favorable et nous verrons pourquoi. Si, par contre, la cosmologie contemporaine lui offre une base sûre, alors l'échelle universelle est trouvée, même si elle n'est pas expérimentée, et la flèche du temps retrouve l'évidence qui s'accorde avec notre intuition.

#### **1. L'INTUITION DE LA FLÈCHE DU TEMPS**

Quand je parle d'évidence et d'intuition, je fais référence au sens commun qui voit le présent du temps s'avancer du passé vers l'avenir et qui constate que le cours irréversible d'une vie humaine s'accompagne d'un cours apparemment irréversible aussi de l'évolution des sociétés dans l'Histoire. Or la croyance à la flèche du temps n'est pas seulement enracinée dans l'évolution sans retour de nous-mêmes et des autres qui nous entourent, elle se nourrit continuellement aussi de l'expérience de la causalité. Quand j'agis, en effet, les effets de mon action se manifestent après et non avant mon intervention. C'est d'après cette leçon de l'expérience que les historiens parviennent à reconstituer la suite des événements dont ils ne peuvent connaître exactement la date. Ce qui est sûr, pour eux, et nul ne leur reproche cette induction, c'est que les influences d'un comportement se propagent du passé vers l'avenir. Même si les personnes agissent en vue d'atteindre une fin qui sera à venir, c'est leur tension actuelle vers cette fin qui est efficace, non le résultat futur de leurs efforts, qui souvent les déçoit. Il n'y a pas, à proprement parler, de rétrocausation de l'effet sur la cause, et les exemples qu'on donne de feedback naturels ou artificiels ne font pas exception à cette règle, qui conçoit la cause antérieure à l'effet, même si l'effet peut à son tour réagir sur l'agent qui a été sa cause. Du côté de l'expérience commune, l'affaire semble donc réglée, et les physiciens ou philosophes les plus réfractaires à l'idée de flèche du temps ne mettent pas en doute l'origine anthropologique – qu'ils appellent évidemment, de leur point de vue, anthropocentrique – de cette idée du sens commun.

Cependant on ne peut dire que les philosophes qui se sont penchés sur la façon dont nous sommes conscients du temps épousent sans réticence, ou même sans une certaine opposition, cette ligne de pensée. S'ils élèvent des objections à son endroit, ces objections doivent être

prises en considération, car il est clair que nous n'aurions aucune connaissance du temps, si nous n'étions d'abord conscients du temps qui nous fuit, quelle que soit la direction de cette fuite. C'est parce que la fuite du temps est manifeste à la conscience, que l'idée de temps, dans sa différence avec celle de l'espace, s'impose à l'esprit. Que cela nous plaise ou non, la conscience est une condition nécessaire de la connaissance du temps, même si cette dernière doit s'appuyer aussi sur des phénomènes extérieurs, en particulier s'il s'agit de la mesure du temps. Que nous enseigne donc la conscience sur la fuite du temps? Ce fut la tâche de la phénoménologie du temps de décrire cette expérience originaire. Par bonheur, si l'on interroge Husserl, du moins dans les *Leçons sur l'expérience intime du temps*, on ne risque pas de mettre en doute le sens de la succession temporelle, telle que le voit le sens commun. "La ligne des présents" est parcourue, pour Husserl, du passé à l'avenir, et c'est la nouveauté, à chaque instant, du présent qui décale le présent antérieur, qu'on ne saisit plus que par "rétention", c'est-à-dire par "mémoire immédiate". Le présent avance donc, pour Husserl, du passé à l'avenir, comme c'était d'ailleurs déjà le cas chez Bergson, qui y voyait même le propre de la durée s'enrichissant sans cesse d'expériences nouvelles. Cependant Husserl ne manquait pas de faire référence, avec respect, aux analyses de S. Augustin, et là on peut dire que la conscience du temps s'y présente de façon fort différente. Car Augustin, au lieu de prendre la succession des états de conscience comme base, ainsi que le faisait par exemple Aristote, porte son attention sur le paradoxe du présent, qui seul existe et pourtant ne cesse de fuir de l'avenir au passé. On ne pourrait pas, pour Augustin, se représenter le temps si on ne voyait le présent toujours escorté de l'avenir et du passé. Pour Augustin l'avenir et le passé sont donc présents d'une certaine façon à la conscience avec le présent proprement dit. C'est même grâce à cette présence fuyante de ces trois modalités du temps conscient qu'on peut se représenter le temps, selon la définition d'Augustin, comme l'extension progressive dans l'âme d'un processus ou d'une durée pure<sup>1</sup>. Sans cesse, pour Augustin<sup>1</sup>, le passé s'agrandit de ce que lui cède l'avenir à travers le présent qui, dans son acception propre, n'est qu'une limite entre les deux. La description augustinienne de la conscience du temps a donc cette particularité qu'elle considère la succession comme se produisant non plus du passé vers l'avenir, mais de l'avenir au passé. L'exemple qu'il donne, au livre XI des *Confessions*, de la récitation d'un hymne liturgique se prête évidemment à une telle description. Mais cet exemple n'est pas universalisable, quoi qu'en dise Augustin. Car il élimine le fait beaucoup plus général que le futur, surtout dans ses phases éloignées, nous est inconnu, et en particulier que c'est dans le présent, au moment où il s'effectue avec une certaine durée, que l'événement qui va entrer dans l'étoffe du temps prend sa figure définitive. On peut même dire que l'événement y prend sa propre position temporelle pour l'éternité, après tel autre événement, et avant l'événement qui le suit. On ne peut donc dire que tout événement a été futur avant d'être présent puis passé. C'était son anticipation par la conscience, du moins si elle était exacte, qui lui faisait porter la marque du futur. Le présent, ainsi qu'on l'a dit avec le sens commun, est l'œuvre de la causalité, elle-même toujours présente. Le sens commun répudie donc les analyses d'Augustin, qui ont pourtant subsisté sous diverses formes dans la tradition philosophique. L'une de ces formes les plus célèbres est liée au nom de Mac Taggart. Ce philosophe de Cambridge en Angleterre, au début du XXe siècle, en a tiré la conséquence que le temps, pour autant qu'il est lié au changement, ne peut pas exister. Car le temps, pour Mac Taggart, est d'abord cette série A, la seule pour lui qui implique du changement et qui va de l'avenir au passé en passant par le présent ; à côté de cette série A, on doit tenir compte d'une série B, qui représente la succession des événements dans leur ordre intangible. Mais les deux séries ne peuvent s'accorder, comme nous allons le voir, si bien que ne subsiste, pour Mac Taggart, que la série C de l'ordre éternel des événements.

---

<sup>1</sup> Cf. S. Augustin, *Confessions*, livre XI, XXVI, 33-36 ; trad. Labriolle, « Les Belles Lettres »

L'impossibilité de l'accord des deux séries A et B constitue le fameux paradoxe de Mac Taggart. Il s'énonce de différentes façons dont la plus simple est la suivante : si l'événement M est présent, il n'y a pas de moment du temps passé où il eest passé, et pourtant tous les moments du temps futur où il est passé sont également (c'est-à-dire au même titre) des moments du temps passé, où il ne peut pas être passé<sup>2</sup>. Il n'y a pas de difficulté pour le sens commun dans cette pseudo-contradiction. Et pourtant la contradiction naît parce que, dans la première phase de l'argument, Mac Taggart considère l'événement dans son mouvement supposé de l'avenir au passé, tandis que, dans la seconde phase, Mac Taggart considère les

moments du temps selon leur succession dans un ordre inverse, et dont on peut dire qu'il est intemporel, du passé à l'avenir. La contradiction réside donc uniquement dans la projection d'un changement imaginaire dans le changement réel, qui a lieu en ordre inverse du premier, et qui, de plus, se trouve immobilisé par l'auteur, malgré le témoignage contraire du sens commun, dans un temps lui-même éternisé. Augustin échappait à une telle pseudo-contradiction car il se gardait bien d'immobiliser le temps et il insistait sur le déversement continu et progressif de tout l'avenir dans tout le passé, si bien qu'avenir, présent et passé changeaient eux-mêmes continuellement et de façon solidaire. C'est ce que Maurice Merleau-Ponty a appelé "le mythe augustinien du temps". Une autre forme du mythe augustinien se trouve plus récemment chez Heidegger<sup>3</sup>. Il me semble qu'Heidegger a lu Mac Taggart, car il se garde bien de dire qu'Avenir, Présent et Passé sont successifs, et même il l'interdit, en mettant pour ainsi dire le mouvement de la temporalité au-dessus de la suite des événements. C'est ce qui lui permet de donner à la temporalité cet ordre qui nous semble bizarre: Avenir/Passé/Présent. La signification de cet ordre, me semble-t-il, est que, pour l'agent historique, qu'Heidegger voulait décrire, c'est ce que cet agent a voulu être dans l'avenir qui détermine son passé ou son "ayant-été", à partir duquel s'exerce son action présente. De cette façon le passé est l'avenir de l'avenir et le présent leur commun rejeton. L'avenir voulu se projette (Heidegger dit "s'ek-tasie") dans le passé, qui lui-même se projette dans le présent, d'une façon qui n'a rien à voir avec une succession. Voilà ce qu'Heidegger désigne comme la temporalité, dont dérivent, pour lui, les formes diverses du temps, d'abord sous la forme du temps historique qui fait la jonction, à travers le thème de la quotidienneté, entre la temporalité des agents et la suite des jours, puis sous la forme de la suite des instants, qui serait offerte par l'analyse d'Aristote, enfin, comme il est indiqué dans une note de *Sein und Zeit*, sous la forme du temps physique qui introduit la mesure. La dérivation de ces espèces de temps n'est pas très claire chez Heidegger, qui entendait surtout montrer que la temporalité est originaire par rapport à la suite aristotélicienne des instants.

On voit que si l'on interroge la conscience, on obtient de la temporalité (c'est-à-dire du lien entre les trois modalités de l'avenir/présent/passé) des descriptions différentes. Cela n'est pas étonnant, puisque la conscience se moule selon ses intérêts, et que ces intérêts sont différents, d'une conscience à l'autre, ou d'un moment d'une même conscience à l'autre. Si la conscience est obligée de privilégier le présent, puisque le présent est, à chaque fois, ce qui est présent à la conscience, elle peut concevoir différemment le lien de ce présent avec le passé et l'avenir. Ce qui est important, c'est de ne pas réduire le présent à un instant, mais de le voir plutôt comme une présence continuée, qui embrasse chaque fois une portion de l'avenir et du passé. La meilleure façon de schématiser cette présence, c'est de la voir comme un segment qui se déplace continuellement sur la ligne des présents et qui envoie, d'instant en instant, de nouvelles perspectives sur l'avenir et le passé, perspectives qu'on peut figurer comme des

---

<sup>2</sup> Cf. J.M.E. Mc Taggart, *The Nature of Existence*, vol. II, book 5, chap. 33, retranscrit dans Richard M. Gale (édit.), *The Philosophy of Time*, Anchor Books edition, pp. 86-97, en particulier p. 96

<sup>3</sup> M. Heidegger, *Sein und Zeit*, p. 417 ; dans la traduction de Martineau, Authentica, 1985, p. 285

lignes transversales, qui coupent la ligne des présents à ces instants successifs. Ce sont ces instants successifs, choisis par la conscience en raison de son intérêt du moment, qui constituent la base de la représentation du temps pour la conscience. Tel est du moins le schématisme qui concilie le mieux, me semble-t-il, les intérêts changeants de la conscience avec les croyances du sens commun (cf. figure 1). Pour le sens commun, qui déborde la conscience de chacun, car il doit être l'intuition de tous, il ne fait aucun doute que le privilège du présent pour la conscience est dû à ce que lui seul livre directement le devenir dont le temps reflète l'ordre et la durée, et aussi à ce qu'il est le seul moment où la conscience peut intervenir dans le cours de ce devenir. Car le passé est intangible et donc sous-trait au devenir, tandis que l'avenir comporte à la fois des cycles qui se répètent et qui, en conséquence, peuvent être prévus à l'avance, comme la suite des jours, et des événements singuliers, dont beaucoup peuvent être certains, mais dont on ne sait pas exactement à quel moment ils s'inséreront dans la suite des jours, comme est la mort de chacun, sauf dans le cas du suicide. A cet égard, prétendre, avec MC Taggart, que "la mort de la reine Anne" était un événement depuis toujours inscrit dans la suite des jours revient à nier le devenir, qui ne se détermine que dans le présent et qui comporte toujours, pour l'avenir, une très grande part d'imprévisible. Il est facile de nier la réalité du temps, comme l'a fait Mac Taggart, quand, alors même qu'on le fait dépendre du devenir (ou du changement), on s'est fait de ce dernier une fausse conception.

(Figure 1)

## 2. LA PHYSIQUE DU TEMPS INCERTAINE SUR SA FLÈCHE

Si la conception du temps, offerte par le sens commun, est bien telle qu'on vient de la décrire, alors on peut penser que la conception newtonienne du temps, qui en fait un devenir absolu qui "coule uniformément" s'accorde avec la conception du sens commun, même si elle ignore le rôle que ce dernier reconnaît au présent. Ce que la conception newtonienne ajouterait, par contre, c'est l'uniformité de l'écoulement, dont a besoin la dynamique moderne, fondée sur le principe d'inertie. Cependant on peut dire que le temps newtonien est également régi par la seconde loi du mouvement, à savoir  $F = m\gamma$ , qui est invariante par renversement du temps, c'est-à-dire si l'on transforme  $t$  en  $-t$ , puisque  $\gamma$  est une dérivée seconde par rapport au temps. Cette invariance a de grands avantages: elle permet de rétrodire autant que de prédire, si bien que si le monde était constitué de particules mécaniques qui obéiraient aux lois de la mécanique classique, il suffirait, comme l'imaginait Laplace, de connaître les positions et les impulsions de toutes les particules de l'Univers à un instant donné pour connaître idéalement l'entier passé et l'entier futur de cet Univers.

Il est clair que cette symétrie entre rétrodiction et prédiction est tout à fait contraire à la croyance du sens commun. Avec la science mécanique moderne, en particulier dans sa formulation hamiltonienne qui repose sur la conservation de l'énergie et néglige les effets de frottement, le temps n'a plus de direction privilégiée. Ce n'est plus un devenir, mais un milieu analogue à l'espace, ou la quatrième dimension de l'espace, comme on l'a dit dès le XVIIIe siècle. On peut dire d'ailleurs que Kant reflète cette manière de voir, quand il fait du temps une forme a priori de la sensibilité, qui ne s'écoule pas avec les événements, mais dans laquelle les événements s'écoulent. Pour Kant, le temps ne change pas, ce sont les phénomènes qui changent à l'intérieur de sa structure immobile. Cette manière de voir, qui est assez commune chez les physiciens, n'a pu être renforcée par les théories de la Relativité d'Einstein, où l'espace et le temps (c'est-à-dire les mesures d'espace et de temps effectuées à partir de référentiels en mouvement uniforme ou à partir d'un instant-point plongé dans un

champ de gravitation) deviennent interdépendants et constituent l'espace-temps relativiste, qui a toutes les propriétés d'un univers-bloc, où rien n'advient de nouveau. Si tout est déterminé, alors la distinction entre le temps et l'espace est relative à l'observateur et, par voie de conséquence, la distinction entre les modalités du présent, du passé et de l'avenir, n'est qu'une illusion, "si tenace soit-elle"<sup>4</sup>, comme le disait Einstein.

Cependant toutes les lois de la physique ne sont pas invariantes par renversement du temps. Par exemple la loi de propagation de la chaleur, énoncée par Fourier, dans le premier quart du XIX<sup>ème</sup> siècle. Il y aurait donc, au moins pour les phénomènes thermiques, une direction privilégiée du temps, qui est celle du sens commun. La thermodynamique, qui étudie les transports de chaleur en tant qu'ils sont porteurs d'énergie, a mis en avant, à côté de la conservation de l'énergie, un second principe, selon lequel, dans un système isolé, l'entropie qui est une grandeur d'état de ce système, ne peut que croître dans le temps, ou s'arrêter à un maximum, quand les parties de ce système sont en équilibre. On ne peut réduire cependant le cours du temps à une augmentation d'entropie, comme l'ont prétendu certains physiciens. Car comment pourrait-on rendre compte alors de la diminution locale d'entropie qu'on observe dans les systèmes ouverts, comme le sont par exemple les êtres vivants? Il est insuffisant alors de dire que cette perte d'entropie est compensée par une dépense plus grande d'entropie dans un environnement plus large, car s'il s'agissait d'une loi universelle, elle devrait s'appliquer partout et dans tous les systèmes. Or ces exceptions locales ne mettent pas en cause, pour autant, l'habituelle direction du temps, telle qu'on l'observe partout, du passé à l'avenir, avec un avenir différent du passé. C'est cette direction privilégiée qui laisse place à une spécification intéressante (les phénomènes vitaux), mais apparemment pas déterminante. Tout ce qu'on peut dire, c'est que la direction de l'entropie est la même que celle de nos actions ordinaires, et que cela est heureux pour nous, car cela nous permet de prévoir. Par contre, cela ne nous permet pas, en général de rétrodire, car les mêmes effets ont pu avoir eu, dans le passé, des causes différentes, comme l'expérience nous l'apprend. La croissance de l'entropie n'est pas une loi telle qu'elle nous permette de sélectionner la vraie cause. En cela aussi, elle rentre bien dans le cadre de notre expérience ordinaire. D'ailleurs la façon dont la thermodynamique phénoménologique définit l'entropie reste assez floue. Elle la définit comme  $S = \sum$  (intégrale)  $dQ/T$ ,  $dQ$  étant la quantité de chaleur absorbée dans l'instant et  $T$  la température. Certes on se rend compte que lorsqu'on infuse de la chaleur dans un corps, la température de ce corps augmente, mais qu'elle augmente dans une proportion moindre que la quantité de chaleur introduite, si bien que le rapport entre cette quantité de chaleur et la température ne cesse de croître. Mais on voudrait savoir comment les choses se passent à l'échelle microscopique. La thermodynamique statistique, qui repose sur la mécanique moléculaire, devrait en principe répondre à cette question. La façon dont elle y répond est cependant déroutante. Il ne peut pas s'agir de suivre, par exemple, le parcours et les chocs de toutes les molécules d'un gaz, ce qui excède nos moyens d'observation et de calcul. Mais il s'agit de profiter de notre ignorance à cet égard pour en tirer des vraisemblances concernant le devenir global d'un système de molécules caractérisé par leur position et leur vitesse. La mécanique statistique utilise la théorie des probabilités, qui est la théorie dont nous avons besoin quand nous avons une connaissance incomplète des données d'un problème. Nous sommes obligés alors de faire des hypothèses qui permettent de simplifier le problème. Ici l'hypothèse consiste à attribuer une probabilité égale à chaque arrangement des  $n$  molécules du système, quand ces molécules se répartissent dans les diverses cellules de l'espace de phase correspondant chacune grosso modo à leur position et à leur impulsion. C'est ce qu'on appelle l'hypothèse quasi-ergodique. Selon cette hypothèse, le

---

4 .A.Einstein-Besso, *Correspondance 1901-1955*, Hermann, 1977, lettre d'Einstein du 21 mars 1955, p.539

nombre de ces arrangements croît à mesure que les molécules sont plus uniformément réparties dans les diverses cellules qu'on a déterminées. Le nombre de ces arrangements est maximum quand les molécules sont uniformément réparties dans toutes les cellules. Il est donc légitime de considérer le nombre de ces arrangements ou "complexions" comme la probabilité dévolue à telle ou telle répartition qui caractérise un macroétat, qu'on définit alors comme l'entropie du système. On a alors  $S = k \log W$  ( $W$  étant le nombre de complexions qui réalisent le macro-état) ou  $S = k \log P$  (puisque le nombre  $W$  peut être normé selon le nombre total des complexions).

Ce qui est remarquable dans un tel raisonnement, c'est qu'il s'opère *sub specie aeternitatis*. On ne prend en compte ni l'état initial, ni l'état final du système, et encore moins un état intermédiaire. On ignore absolument les interactions entre les molécules, dont il faut admettre pourtant qu'elles sont les causes réelles des modifications du macro-état. On se contente donc de dire que les états de haute entropie sont beaucoup plus probables, et donc plus fréquents, que les états de basse entropie.

On peut en conclure que l'entropie est un désordre, c'est-à-dire une tendance à l'homogénéité d'une distribution. On pensait d'ailleurs qu'il en était déjà ainsi dans le cas de la chaleur qui se répand dans tout un corps et en augmente la température (c'est-à-dire la vitesse moyenne des molécules dans l'hypothèse moléculaire dont Maxwell fut l'inventeur) mais pas dans la même proportion. L'intérêt de la nouvelle analyse est sans doute qu'elle s'applique non seulement à la diffusion de la chaleur, mais à la diffusion de n'importe quelle forme d'énergie, et que, dans cette mesure elle est un instrument utile pour toutes les applications de la thermodynamique, en tant que science des transports d'énergie.

Mais s'il s'agit de la direction du temps, a-t-on fait un pas en avant? Il semble qu'on a fait plutôt un pas en arrière, précisément parce qu'on s'est mis sur un plan intemporel. Le regretté Carl Friedrich von Weisäcker a remarqué qu'on devrait s'interdire d'appliquer l'hypothèse quasi-ergodique dans le passé car on tombe alors sur une contradiction. En effet, si le système évolue, à partir du présent vers un état de plus haute entropie, c'est qu'il n'était pas (dans le passé) dans un état d'entropie maximale. Selon l'hypothèse ergodique, cet état maximal, qui n'est pas atteint dans le futur proche de ce présent, comme il le faut pour que cet état maximal soit renvoyé à plus tard afin de sauvegarder la loi de croissance de l'entropie, a donc dû se réaliser dans le passé. Mais alors à un état de très haute entropie a succédé un état de plus basse entropie, ce qui est contraire à la loi de la croissance de l'entropie. Cette remarque ne fait que souligner ce que les Ehrenfest avaient mis en évidence : à une certaine distance de l'état d'équilibre, où l'entropie est maximale, le système isolé évolue tantôt dans le sens de l'entropie croissante, tantôt dans le sens de l'entropie décroissante (cf. figure 2: the entropy curve of a permanently closed system, d'après A. Grünbaum, op. cit., p. 242). D'ailleurs Boltzmann lui-même avait écrit que, dans l'Univers, certaines parties isolées doivent tendre vers l'entropie croissante, d'autres vers l'entropie décroissante, tandis que d'autres parties restent à l'état d'équilibre ou de quasi-équilibre. Si l'on veut lier la direction du temps à la croissance de l'entropie, alors il ne faut pas rester à la considération d'un système isolé mais il faut imaginer une suite d'événements grâce auxquels l'entropie, telle que l'entend la mécanique statistique, est contrainte à s'accroître. C'est ce que fait la théorie des systèmes branchés. La forme la plus achevée de cette théorie semble avoir été livrée par Adolph Grünbaum<sup>5</sup>.

Fig. 2

---

<sup>5</sup> A.Grünbaum, *Philosophical problems of Space and Time*, D.Reidel, 1972,pp.235-264

La théorie de Grünbaum n'est pas étrangère à notre expérience, qu'elle soit commune ou scientifique (en l'espèce astrophysique), puisqu'elle se fonde sur le fait que la plupart des systèmes que nous considérons comme quasi-isolés ne l'ont pas toujours été dans le passé et ne le seront pas toujours dans l'avenir. C'est manifeste dans le cours de la vie ordinaire: on constate que beaucoup de systèmes doivent leur état initial de relative basse entropie à leur couplage antérieur avec un système extérieur; ainsi le rocher qui a été chauffé durant le jour par les rayons du Soleil fait fondre la neige qui tombe sur lui durant la nuit et se refroidit d'autant; mais, le matin suivant, il est de nouveau réchauffé par le Soleil. A l'échelle cosmologique, l'astrophysique nous apprend que les galaxies et les systèmes solaires ont des destinées qui naissent d'une sorte d'élan initial qui leur a été donné, un élan qui s'épuise et dont les restes sont utilisés par d'autres forces agissantes. Ce que Grünbaum veut considérer dans chaque cas c'est un ensemble de tels sous-systèmes dotés d'une égale entropie, soit  $S_1 = k \log W_1$ , c'est-à-dire un ensemble tiré au hasard parmi les complexions qui réalisent le macro-état caractérisé par  $S_1$ . Cette considération est importante: elle permet d'appliquer à un ensemble de systèmes dispersés dans l'espace la loi de probabilité qui, chez Boltzmann, s'applique dans le temps à un seul système isolé. Or ces sous-systèmes peuvent être de deux sortes. Dans le groupe 1 sont classés les sous-systèmes qui sont dans un état de non-équilibre et de relative basse entropie; alors, pour la majorité d'entre eux, ils auront des entropies plus hautes après un temps donné  $t$ ; ce qui est important, dans ce cas, c'est que les entropies qu'ils pou- vaient avoir bien avant ce temps  $t$ , quand ils étaient couplés, ne comptent plus, maintenant qu'ils sont isolés; le caveat de von Weisäcker est de fait observé. Le groupe 2 est formé de sous-systè- mes qui sont laissés à eux-mêmes dans un état d'équilibre ou de très haute entropie; alors la grande majorité de ces systèmes n'auront pas des entropies plus basses après un temps  $t$ , mais seront dans un état d'équilibre permanent. Au total, la loi d'entropie croissante sera donc observée, du moins pour la grande majorité de ces systèmes, qu'ils soient classés dans le groupe 1 ou le groupe 2. Cette démon- stration est assez convaincante. Mais elle repose beaucoup moins sur la loi de probabilité de Boltzmann qui, comme toute loi de probabi- lité, laisse passer des exceptions, que sur la suite irréversible des évé- nements que le démiurge, postulé par le théoricien des systèmes branchés, impose à des sous-systèmes qui, livrés à eux-mêmes, se- raient condamnés à cette sorte de retour éternel postulé par Ehrenfest. Selon Ehrenfest (qui ne fait que commenter Boltzmann), en effet, les états d'équilibre sont beaucoup plus fréquents et durables que les descentes et remontées de plus basse à plus haute entropie (cf. Figure 2). Si la suite des événements peut être décrite comme irréversible dans la théorie des systèmes branchés, c'est qu'on n'a jamais vu et qu'on ne peut même pas concevoir des sous-systèmes de haute entropie s'associer spontanément pour créer de l'ordre, c'est-à-dire un seul système de basse entropie. Le démon de Maxwell et le démon d'Arrhenius, fort bien nommés, n'ont pas d'existence physi- que. Donc la direction unique du temps n'est pas déduite de la théorie des systèmes branchés, qui se borne à la manifester, elle est présupposée par elle, en tant qu'elle introduit l'action d'un démiurge qui veille, pour ainsi dire, à ce que la loi de l'entropie croissante, même sous sa forme boltzmanienne, soit en gros observée. On sait qu'on a proposé d'autres théories, comme celle qui se fonde sur la prédominance des ondes retardées par rapport aux ondes avancées, pour tenter d'expliquer physiquement l'unique direction du temps. Mais comme le regretté Olivier Costa de Beauregard l'a montré, face à la tentative de Karl Popper par exemple, on ne peut dissocier le principe des ondes retardées du principe de la croissance de l'entro- pie. Si on est toujours ramené à une croissance de l'entropie, et si cette croissance continue dépend de conditions telles qu'elles ont été énoncées, par exemple, par la théorie des systèmes branchés, alors c'est sur la possibilité de telles conditions qu'il convient de se pencher.



### 3. LA FLÈCHE DU TEMPS RESTAURÉE PAR LA COSMOLOGIE

Nous avons vu que la direction du temps est fortement attestée par l'expérience que nous avons de l'irréversibilité de toute suite d'événements (à l'exception des phénomènes cycliques, qui obéissent à des lois, bien entendu). Mais nous avons vu aussi que, du côté de la physique, les lois fondamentales sont invariantes par renversement du temps, et que la croissance de l'entropie, elle aussi bien attestée, ne suffit pas à elle seule à nous garantir cette flèche du temps, à laquelle il semble pourtant difficile de renoncer. Il n'est pas étonnant que, d'un point de vue philosophique, certains se résignent à ne voir dans cette flèche qu'une illusion anthropocentrique, tandis que d'autres s'appliquent à renforcer les indications de la thermodynamique qui ne sont pourtant, comme on vient de le voir, guère probantes. Y a-t-il un chemin qui serait plus sûr que la thermodynamique, sous sa forme phénoménologique ou statistique?

La thèse ici soutenue est que ce chemin existe et qu'il est de nature cosmologique. Ce qui est étonnant, c'est qu'il a été découvert par une théorie qui décourageait de le trouver jamais, à savoir la Relativité d'Einstein. En assimilant le temps à une dimension de l'espace, cette théorie semble bloquer l'accès à un tel chemin. Et pourtant, quand on applique la théorie relativiste de la gravitation (qui dérive de l'idée d'une relativité générale) à l'Univers entier, alors on rencontre de telles difficultés, se manifestant par des potentiels de gravitation qui tendent à l'infini, que la seule façon élégante d'y faire face est de découpler le temps des trois dimensions spatiales et de faire du premier un paramètre d'universelle évolution. C'est le mérite d'Einstein d'avoir découvert cette solution dans ses *Considérations cosmologiques* (1916). L'infortune qui est arrivée à Einstein est d'avoir associé cette solution avec un univers statique, c'est-à-dire dont l'espace fini est constant, et d'avoir introduit, pour assurer cette permanence, la constante cosmologique  $\lambda$ , qui s'oppose à la gravitation, une introduction qu'Einstein devait rejeter par la suite. Mais l'idée d'Einstein, consistant à dissocier le temps de l'espace, a été reprise par Friedmann qui a montré qu'il n'existe pas de solution statique des équations de la gravitation relativiste, quand on les applique à l'Univers. On peut concevoir des modèles d'Univers différents, les uns prévoyant une expansion continue de l'espace, les autres une expansion suivie d'une contraction. C'était en 1922. Or, dès 1923, Hermann Weyl a montré qu'il y avait un temps cosmique unique pour tout modèle de cette sorte dans sa phase d'expansion. En effet la distribution uniforme de matière qu'on postule alors dans l'univers peut être décrite comme un bouquet de lignes du monde du genre temps, qui divergent à partir d'un point commun situé dans le passé. On peut concevoir également des hypersurfaces du genre espace qui sont partout orthogonales à ces lignes du monde divergentes. Cette famille de surfaces est susceptible d'être étiquetée par le temps propre de ces lignes divergentes qui passent à travers elles et, puisque ces surfaces sont orthogonales à toutes ces lignes d'univers elles fournissent l'échelle universelle du temps cosmique. Il suffit de supposer que l'observateur qui mesure son temps propre sur une ligne de monde reste comobile avec cette ligne, c'est-à-dire en repos par rapport à elle. Alors les observateurs, sur toutes les lignes de monde, mesurent le même temps<sup>6</sup>. Il s'agit d'une définition statistique, qui n'entre pas en contradiction, avec les temps multiples de la Relativité restreinte et de la Relativité générale, qui introduisent des variantes par rapport à cette moyenne statistique, fondée sur l'expansion de l'Univers. Il est remarquable que cette expansion entraîne une dispersion d'énergie, et donc une augmentation d'entropie, si

---

<sup>6</sup> Cf. P.C. Davies, *The Physics of Time Asymmetry*, UCP, 1974, I, 4, Cosmic time, 18-19

bien que la flèche du temps cosmique s'identifie avec la flèche du temps thermodynamique et en garantit la permanence, qui avait été mise à mal par l'analyse opérée par la mécanique statistique. L'objection qui pourrait venir de l'existence possible de phases de contraction se trouve conjurée par les calculs qui montrent que, dans ce cas, les cycles d'expansion et de contraction diminuent en ampleur, si bien qu'au total, l'entropie de l'Univers ne cesse de croître, comme l'a montré Tolman.

Dès 1923, Hermann Weyl avait suggéré que la fuite réciproque des galaxies, dont on parlait déjà, pouvait témoigner en faveur de cette universalité du temps cosmique. En 1927, Georges Lemaître montrait que tel était bien le cas dans son article intitulé: "Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques". Ces nébuleuses extragalactiques désignaient les galaxies (ou les amas de galaxies) autres que la nôtre, désignée depuis longtemps comme la Voie Lactée. La cosmologie nouvelle était fondée et l'on sait qu'elle a triomphé, depuis 80 ans, de toutes les difficultés qu'on a soulevées contre elle, grâce, en particulier, à la découverte du rayonnement cosmique fossile, survenue en 1965. Même si l'événement du big bang, qui marque le temps 0 du temps cosmique, reste inexplicé (encore qu'il existe des théories qui s'efforcent d'en rendre compte), on peut dire que l'usage du temps cosmique n'a cessé de croître et qu'à défaut de le mesurer, on peut l'estimer, selon plusieurs méthodes convergentes qui accordent aujourd'hui à l'Univers un âge de 14 milliards d'années environ.

## CONCLUSION

La flèche du temps, que le sens commun postule à partir de l'expérience ordinaire, est devenue incertaine avec la science classique, dont les lois fondamentales font fi d'une telle direction. Seule la thermodynamique maintenait cette direction, avec la croissance générale de l'entropie, mais c'était à certaines conditions, qui ne se décrivent pas par les moyens de la physique. La Relativité a semblé longtemps bannir le problème de la science physique, puisqu'elle ne fait plus de distinction fondamentale entre l'espace et le temps. Pourtant son application à la cosmologie a rendu nécessaire la réintroduction de cette distinction qui s'est révélée féconde. Avec le temps cosmique, l'accord entre le temps du sens commun et le temps scientifique se trouve rétabli.

Ce rétablissement, que la mécanique quantique pourrait de son côté appuyer puisque l'acte de mesure y est considéré comme irréversible, conduit à s'interroger sur ce que peut être l'idéal de la physique. La science moderne a privilégié la recherche de lois, et cette recherche culmine en quelque sorte dans l'objectif de la Relativité. Mais cet idéal se heurte à de grandes difficultés et la théorie de l'unification des quatre interactions fondamentales, si elle parvient au but, devra de toute façon expliquer comment il se fait que ces interactions se sont diversifiées, si bien qu'elles semblent aujourd'hui étrangères les unes aux autres.

La réapparition de la cosmologie, qui s'intéresse aux conditions initiales tout autant qu'aux lois, et qui prend l'Univers comme un fait à expliquer, peut servir de correctif à l'idéal classique de la physique. Il y a des lois, c'est sûr, mais ces lois peuvent être relatives à l'époque et au lieu où elles deviennent effectives. Henri Poincaré n'estimait pas absurde l'idée de "l'évolution des lois" que le philosophe Emile Boutroux avait lancée avec sa thèse sur "la contingence des lois de la nature"; Poincaré remarquait que "les relations mutuelles des diverses parties de l'univers dépendent toutes de la température et dès qu'elle change, tout est bouleversé".<sup>7</sup> Aujourd'hui on attribue à la diminution de température de l'Univers

---

<sup>7</sup> H.Poincaré, *Dernières Pensées*, Flammarion, 1933, chap.I « l'évolution des lois », p.25

consécutives à son expansion, la succession des quatre époques de l'Univers: l'ère particulière, l'ère nucléaire, l'ère radiative, l'ère matérielle ou stellaire. Demain on pourra peut-être attribuer à la même diminution de température l'apparition successive des quatre interactions fondamentales avec la brève période d'expansion inflationnaire, suscitée sans doute par un découplage, et qui est nécessaire pour assurer l'isotropie actuelle de l'Univers.

Bref le tournant cosmologique de la physique pourrait nous aider à comprendre que, comme le disait Montesquieu des lois humaines, les lois physiques aussi "sont les rapports nécessaires qui découlent de la nature des choses", une nature qui n'est pas constante mais en évolution. Dans ces conditions on pourrait s'ingénier à trouver "l'esprit", c'est-à-dire la raison, des lois existantes. C'est un scénario d'Univers, ponctué par le temps cosmique, qui introduirait à la compréhension des lois, loin que ces lois nous obligent à imaginer dans l'abstrait des unifications de plus en plus difficiles, et de moins en moins sujettes au contrôle expérimental. La physique descendrait du ciel des idées, si suggestives soient-elles, à la terre des considérations cosmiques, une fois que celles-ci seraient débarrassées du soupçon de spéculation métaphysique qui pèse encore sur elles. En tout cas, l'universalité de la flèche du temps ne susciterait plus aucun doute.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Audouze J., *L'Univers*, coll. "que sais-je?", n° 687, PUF, Paris, 1997.

Augustin, *Confessions*, trad. P. de Labriolle, "Les Belles Lettres", Paris.

Barreau H., "Living-Time and Lived Time; Rereading St. Augustine", *Kronoscope* 4(1), 2004, Brill, .Leiden ,Boston., pp. 39-68.

Costa de Beauregard O., *Le Second Principe de la Science du Temps*, Seuil, Paris, 1963.

Davies P.C.W., *The Physics of Time Asymmetry*, UCP, Berkely, Los Angeles., 1974, 1977.

Demaret J., *Univers, les théories de la cosmologie contemporaine*, Le Mail, Aix-en-Provence, 1991.

Gale R.M. (ed.), *The Philosophy of Time*, Anchor Book, New York., 1967.

Grünbaum A., *Philosophical Problems of Space and Time*, D. Reidel, Dordrecht, 1973.

Heidegger M., *Être et Temps*, traduction de F. Martineau, Authentica, 1985.

Poincaré H., *Dernières Pensées*, Flammarion, Paris, 1933.

Zeh H.D., *The Physical Basis of the Direction of Time*, Springer-Verlag, .Berlin, Heidelberg, New York, 1989.