

FAUT-IL DISTINGUER COURS DU TEMPS ET FLÈCHE DU TEMPS ?

Etienne KLEIN

klein@dsmdir.cea.fr

Cette conférence à deux motivations :

- La première est de procéder à un examen - et peut-être ensuite une critique - de notre façon de parler du temps, que nous soyons physicien ou que nous ne le soyons pas. Cette critique du langage peut paraître inutile, vous pouvez penser elle qu'elle n'est qu'un détail, mais j'attire votre attention sur le fait que la conclusion tirée d'un récent colloque sur la flèche du temps (où il n'y avait pas n'importe qui : Unruh, Penrose, Legget) est la suivante : « il ne nous semble pas exagéré de dire que le problème principal que pose le problème de la flèche du temps est de pouvoir dire de quoi il s'agit au juste ». Bref, toute la question est de savoir de quoi l'on parle lorsque l'on parle de temps, de flèche du temps, de cours du temps.
- La seconde motivation est de déterminer si possible quelle est la bonne façon de parler de la violation de CP, en essayant surtout de préciser quels sont les points d'intersection de ce phénomène avec la question du temps.

Le point de départ de cette conférence a été la lecture du livre de Ilya Prigogine, qui s'intitule *La fin des certitudes*, paru chez Odile Jacob il y a

quelques années. C'est le premier livre qu'il ait écrit sans Isabelle Stengers. À la lecture de ce qu'écrit Prigogine, on ressent une sorte de malaise, qui tient en ceci : presque à chaque chapitre, Prigogine répète que la physique s'est trompée depuis le début, qu'elle a commis l'erreur de nier le temps au motif, explique-t-il, que toutes les équations fondamentales de la physique sont réversibles en temps...

Quelle est la validité de ce syllogisme de Prigogine ? Des équations réversibles en temps sont-elles vraiment des négations de l'existence même du temps ? Est-ce vraiment à cause du second principe de la thermodynamique que nous ne pouvons pas nous souvenir du futur ? Ce sont les questions que je voudrais traiter devant vous.

Les difficultés propres de la question du temps

La question du temps est une sorte d'« attrappe-nigauds ». Elle semble simple, facilement accessible, mais en réalité, elle est infernale. Quiconque veut l'aborder sérieusement doit d'abord surmonter quatre sortes de difficultés.

Le premier type de difficultés vient de ce que le mot temps ne dit rien de la chose qu'il désigne. C'est ce que Niels Bohr a appelé « la relation d'exclusion mutuelle entre l'usage pratique d'un mot, quel qu'il soit, et l'essai de sa définition précise »¹.

Le mot temps intervient dans un très grand nombre d'expressions qui nous donnent l'impression que le temps est un être familier, presque domestique, mais quand on regarde toutes ces expressions en même temps pour essayer d'en déduire ce qu'est le temps, on s'aperçoit rapidement que le temps est victime d'une polysémie si fulgurante qu'il apparaît vite comme une entité sinon incohérente, du moins jamais très claire. Par exemple, lorsque j'exprime

¹ Niels Bohr, *Physique atomique et connaissance humaine*, Gonthier, Paris, 1961, p. 86.

que « je n'ai pas le temps », je veux signifier que je ne dispose pas de la durée nécessaire pour faire ce qui m'est demandé. Mais si je ne dispose pas de la durée dont j'ai besoin, c'est précisément parce que le temps, en passant, contraint mon emploi du temps. En somme, si je n'ai pas le temps, c'est justement parce qu'il y a ... du temps !

Le mot temps a ceci de particulier qu'il semble capable de tout dire à la fois : la succession et la simultanéité, la durée et le changement, l'époque et le devenir, l'attente et l'usure, le vieillissement et la vitesse, et même l'argent ou la mort. Constatant cette imprécision du mot temps, on est en droit de se demander s'il ne devrait pas être systématiquement remplacé par des désignations plus modestes, plus précises, plus spécialisées, en tout cas libérées de toute l'ambivalence mystérieuse dont l'histoire du langage l'a chargé. Il faudrait peut-être adopter une attitude déflationniste à l'égard de ce mot dont le caractère vague nourrit les perplexités et entretient les confusions.

La deuxième sorte de difficultés concernant le temps est liée à la première. Comme nous venons de l'expliquer, en matière de temps, le langage ne dit rien de précis, mais ça ne l'empêche pas d'être éloquent. Le langage est philosophiquement stérile, il ne fournit pas d'images nettes, mais il ne se met pas pour autant en congé, au contraire même : il impose ses diktats, il construit une dictature du sens, car il signifie immédiatement quelque chose, même si ce quelque chose est sans rapport avec la chose qu'il désigne : le langage ne nous dit pas ce qu'est le temps, mais il nous explique implicitement ce qu'il faut penser à son propos.

Le mot temps, comme tous les mots importants, créent une impression de savoir, là où il n'y a en réalité aucune espèce de savoir réel. Déjà, le seul fait d'avoir substantivé le temps conditionne notre façon de l'évoquer et engendre toute une série d'expressions, de formules, de lieux communs, qui sont en général problématiques. Par exemple, nous proclamons sans la moindre hésitation que « le temps passe ». Que signifie cette phrase au juste ? Nul ne conteste que le temps soit effectivement ce qui fait que toute chose passe,

mais de là à dire que c'est le temps lui-même qui passe, il y a un pas que le langage courant nous incite à franchir, mais qui n'est peut-être pas légitime. En effet, la succession des trois moments du temps (le futur, le présent et le passé) n'implique nullement qu'on puisse dire que le temps se succède à lui-même. Eux passent, c'est certain, mais lui ? Si l'on considère que le temps est le principe par lequel chaque instant présent cède la place à un autre instant présent, alors c'est justement du fait de sa présence constante que les choses ne cessent de passer. Dans ce cas, on devrait donc plutôt dire que c'est la réalité tout entière qui « passe », et non le temps lui-même, qui lui ne cesse jamais d'être là à faire justement passer la réalité ?

En somme, dire que le temps passe, c'est commettre une erreur semblable à celle que nous commettrions en disant que le chemin chemine ou que le cahier à musique chante. C'est confondre la chose et sa fonction.

La troisième série de difficultés vient de ce que, en amont même du langage, certaines analogies se sont emparées de notre pensée et l'ont emportée irréversiblement. C'est le cas de l'analogie du fleuve, qui a formaté toutes nos représentations du temps et qui, subrepticement, charrie avec elle toute une série d'*a priori* clandestins. Il convient de débusquer ces *a priori*, car ils sont en définitive des attributs du fleuve, et non des attributs du temps. Par exemple, si nous avons bien le droit d'attribuer une vitesse à l'écoulement d'un fleuve, nous ne saurions le faire pour l'écoulement du temps, puisqu'une vitesse est une dérivée par rapport ... au temps !

Enfin, *la quatrième sorte de difficulté*, qui est de loin la plus pernicieuse, vient de ce que nous confondons systématiquement, de façon presque inconsciente, le temps et les phénomènes temporels. Par un processus de contagion ou de capillarité, nous identifions *a priori* le contenant à son contenu. Ce processus joue dans la vie courante, et il joue aussi dans la philosophie la plus abstraite.

Par exemple, dans la vie courante, constatant qu'il existe des phénomènes cycliques, nous prétendons aussitôt que le temps lui-même est cyclique ; ou bien, constatant que notre emploi du temps est de plus en plus tendu ou que la production industrielle est de plus en plus rapide, nous prétendons que c'est le temps lui-même qui va plus vite.

On peut toujours se défendre en prétendant qu'il ne s'agit que de façons de parler, mais l'affaire est plus grave quand ce glissement est accompli par des philosophes car eux n'hésitent pas à transformer non pas seulement notre façon de parler du temps, mais carrément le temps lui-même : à peine apprennent-ils que les scientifiques ont découvert une nouvelle catégorie de phénomènes qu'ils déclament aussitôt que c'est le temps lui-même qui s'en trouve modifié ou qu'il vient de subir une révolution essentielle ou ontologique.

Ainsi Michel Serres, pour qui j'ai par ailleurs le plus grand respect, écrit à propos de la théorie du chaos : « Le temps ne coule plus toujours selon une ligne ni selon un plan, mais selon une variété extraordinairement complexe, comme s'il montrait des points d'arrêt, des ruptures, des puits, des cheminées d'accélération foudroyante, des déchirures, des lacunes, le tout ensemencé aléatoirement, au moins dans un désordre visible. Ainsi, le développement de l'histoire ressemble vraiment à ce que décrit la théorie du chaos ». Autrement dit, l'existence de phénomènes chaotiques impliquerait nécessairement que le cours du temps est lui-même devenu chaotique. Or vous savez bien que la théorie du chaos s'explicite au sein même de la mécanique la plus ordinaire et que ni le statut ni la représentation du temps n'ont été modifiées par lui.

Dans le même ordre d'idées (si l'on peut dire) Je pourrais vous citer des phrases analogues de Jean-François Lyotard, de Jean Baudrillard, de Deleuze et d'autres encore, mais cela finirait par ressembler à la conférence donnée dans cette même salle, il y a quelques mois, par Jean Bricmont.

Pour tout vous dire, je ne sais pas si cet amalgame qui est fait entre temps et phénomènes temporels est pertinent ou non, justifié ou non, je remarque

simplement qu'il n'est presque jamais discuté et que cette collusion entre temps et phénomènes temporels ne se retrouve pas dans tous les formalismes de la physique. Parler du temps présuppose donc de notre part que nous sachions le distinguer – au moins dans le discours - des divers déploiements qu'il rend possible – les phénomènes – pour saisir, sinon sa véritable nature, du moins sa fonction essentielle : *a priori*, il n'est pas la durée, mais ce qui produit de la durée ; *a priori*, il n'est pas non plus la même chose que le mouvement, mais ce en quoi tout mouvement se déploie ; il n'est pas le changement, mais ce qui porte tout changement.

Mais surtout, le temps n'est pas la même chose que le devenir. Or nous avons systématiquement tendance à confondre ces deux notions, qui *a priori* n'ont pourtant aucune raison de se recouvrir.

La confusion temps-devenir : un reliquat des mythes ?

Remarquons d'abord que cette tendance à considérer que le temps ne passe pas dès lors que rien ne change est ancienne. On la trouve explicitement formulée chez Aristote, qui écrit : « Le temps n'existe pas sans le changement. En effet, quand nous ne subissons pas de changements dans notre pensée, ou que nous ne les apercevons pas, il ne semble pas que soit passé du temps². » Argument qui sera repris par Hume, de façon plus nuancé, quand il explique que la perception du temps n'est possible que si des changements se manifestent : « un homme plongé dans un sommeil profond ou fermement occupé par une seule pensée ne sent pas le temps [...]. Si nous n'avons pas de perceptions successives, nous n'avons pas de notion du temps, même s'il existe une succession réelle des objets [...]. Le temps ne peut se présenter à l'esprit ni seul ni accompagné d'un objet stable et invariable, mais il est toujours découvert grâce à la succession perceptible d'objets susceptibles de changer³ ».

² Aristote, *Physique*, IV, 218, Paris, Les Belles Lettres, 1990, p. 149.

³ Hume, *Traité de la nature humaine*, Paris, Garnier-Flammarion, 1995, p. 86-87.

En fait, cette confusion remonte même aux mythes : « au début », racontent en effet les plus anciens d'entre eux, il existait un monde originel qui perdurait sans être soumis au temps. Le temps n'est entré en scène qu'au bout *d'un certain temps* pour amorcer une genèse, enclencher un processus, provoquer une évolution. Dans ces récits, le temps ne semble pas avoir pour fonction première de faire persister le monde : il est identifié au seul devenir, non à ce qui maintient le monde dans la continuité d'un présent. Seule une confusion entre temps et devenir permet en effet d'imaginer qu'un monde stagnant, *pré-chronique*, a pu précéder le temps, celui-ci n'advenant que dans un second temps pour initier une trame historique.

Cet amalgame, qui sous-entend que nul temps n'est présent si aucun changement ne se produit, a conservé de beaux restes dans notre culture : seul le devenir aurait besoin du temps, pas la simple durée.

Regardons plus précisément du côté des mythes grecs. Au début, donc, il y avait le Ciel et la Terre, Ouranos et Gaïa. Enfantée par elle, le Ciel recouvrait complètement la Terre. Il lui « collait à la peau », maintenant sur elle une nuit continuelle sans cesser de s'épancher dans son sein. En clair, il n'avait pas d'autre activité que sexuelle, de sorte que Gaïa se trouvait grosse de toute une série d'enfants, dont les Titans, qui ne pouvaient pas sortir de son ventre : ils restaient logés là même où Ouranos les avait conçus. Nul espace entre Ouranos et Gaïa, qui aurait permis à leurs enfants de venir à la lumière et d'avoir une existence autonome.

Mais Gaïa finit par ne plus supporter de retenir en son sein ses enfants, qui, faute de pouvoir sortir, la gonflaient et l'étouffaient. C'est alors que Kronos, le dernier-né, accepta d'aider sa mère en affrontant son père. Tandis qu'Ouranos s'épanchait en Gaïa, il attrapa fermement les parties sexuelles de son géniteur puis les coupa sèchement avec une serpe façonnée par sa mère. Ouranos poussa un hurlement de douleur et, dans un geste brusque, se retira, s'éloigna de Gaïa, puis vint se fixer tout en haut du monde pour n'en plus bouger. En castrant Ouranos, Kronos réalisa donc une étape fondamentale dans la

naissance du cosmos : il sépara le ciel de la terre et créa entre eux un espace libre. Désormais, tout ce que la terre produirait aurait un lieu pour se développer et tout ce que les êtres vivants feraient naître pourrait respirer, vivre, engendrer.

Ainsi, le temps du devenir est apparu, s'est « épanoui », juste après l'espace. Tant qu'Ouranos pesait sur Gaïa, pas de générations possibles, celles-ci restant enfouies à l'intérieur de l'être qui les avait produites. En fait, contrairement à ce que le mythe nous dit, il y avait déjà du temps puisque Ouranos et Gaïa « éprouvaient » de la durée, mais c'était un temps qui ne permettait rien d'autre que la stagnation du monde. Ouranos se retirant, les Titans purent sortir du giron maternel et enfanter à leur tour : s'ouvrit alors une succession de générations. En s'émancipant, Kronos libéra Chronos. Porteur de devenir, ouvert à l'histoire, il allait enfin pouvoir se déployer, à l'infini.

En Occident (mais aussi en Orient), on a pu ainsi raconter des histoires comportant des repères chronologiques tout en affirmant que le temps n'existait pas. Cette liberté narrative est parfaitement respectable, mais elle tend à oublier que le temps affecte l'être dans son immobilité autant que dans son devenir, qu'il agit *aussi* lorsque nul changement ne se produit. *Si le devenir présuppose le temps, le temps n'implique nullement le devenir.*

Ce qu'en dit la physique

La physique, elle, a fini par prendre bien soin de distinguer dans ses divers formalismes le temps du devenir, autrement dit le *cours* du temps de la *flèche* du temps (même si quelque confusion persiste encore dans le discours des physiciens, comme nous le verrons plus loin).

Le cours du temps, c'est ce qui est représenté par l'axe du temps sur lequel on met une petite flèche qui n'est précisément pas la flèche du temps. Elle est là pour signifier que le cours du temps, même s'il est arbitraire, peut être néanmoins défini, et que les voyages dans le temps sont impossibles. Cette

représentation du temps est toute entière contrainte, quelque soit le formalisme que l'on se donne, par la causalité, qui impose une chronologie absolue aux événements qui sont causalement reliés les uns aux autres.

Cette représentation mathématique du cours du temps invite à définir le temps comme étant ce qui produit de la durée, rien de plus, c'est-à-dire pas forcément du changement. Dans ce contexte, la durée est seulement cette chose qui permet la persévération du monde, éventuellement celle d'un monde invariant, sans devenir.

La flèche du temps renvoie, quant à elle, à la possibilité qu'ont les systèmes physiques de *devenir*, c'est-à-dire de connaître au cours du temps des changements ou des transformations parfois irréversibles, qui les empêchent à tout jamais de revenir à leur état initial. Elle est une propriété, non du temps lui-même, mais de certains phénomènes physiques dont la dynamique peut être ou ne pas être réversible.

Pour dire les choses en une phrase, le cours du temps assure la continuité du monde - il empêche le monde de disparaître – tandis que la flèche du temps y produit des histoires dont l'épilogue n'est jamais identique au commencement.

La représentation que les physiciens se font du cours du temps a toujours été contrainte par le principe de causalité. L'énoncé et les conséquences de ce principe dépendent de la théorie considérée. En physique newtonienne, la causalité implique que le temps est linéaire et non cyclique ; en relativité restreinte, elle interdit qu'une particule puisse se propager plus vite que la lumière dans le vide ; en physique quantique non relativiste, elle est garantie par le fait l'équation de Schrödinger fait jouer au Hamiltonien le rôle de générateur infinitésimal des translations dans le temps ; en physique des particules, elle rend nécessaire l'existence de l'antimatière et s'explique par le biais de l'invariance CPT à laquelle doit obéir la dynamique des phénomènes

physiques (Pauli, 1940)⁴. Dans ce contexte, la violation de CP doit se penser dans un cadre complètement causal, puisqu'elle est strictement compensée par une violation de T (CPLEAR) qui garantit globalement l'invariance CPT. Mais peut-on parler pour autant d'une flèche du temps ?

La flèche du temps, elle, présuppose l'existence d'un cours du temps bien établi, **même si son sens est arbitraire**, au sein duquel - *de surcroît* - certains phénomènes sont eux-mêmes temporellement orientés, c'est-à-dire irréversibles : une fois accomplis, il est impossible de retrouver dans le futur l'état initial du système.

Lien entre causalité, cours du temps et flèche du temps

Entendons-nous bien : il n'est pas exclu que le cours du temps et la flèche du temps procèdent *en définitive* d'une seule et même réalité, plus profonde, qu'ils soient l'un et l'autre des produits dérivés de phénomènes sous-jacents qu'une « nouvelle physique » mettra peut-être à jour⁵, mais pour le moment, il convient de les distinguer formellement. J'ai présenté la causalité comme une contrainte externe qui s'impose à nos représentations du temps, mais certains travaux visent à renverser complètement cette logique en présentant la causalité comme première et en montrant que le temps lisse et continu que nous connaissons est une propriété émergente - à une certaine échelle - une propriété qui émerge à partir d'un inframonde dans lequel il n'y a pas de temps prédéfini mais dans lequel se trouvent des événements causalement reliés. Ces articles sont trop difficiles pour moi, j'attends de savoir quel sort la suite de l'histoire leur réservera.

⁴ Pour en savoir plus, voir Etienne Klein, *Les Tactiques de Chronos*, Flammarion, 2003, pp. 85-109.

⁵ Certains auteurs envisagent qu'on puisse définir une « causalité sans temps », dont le cours du temps aussi bien que la flèche du temps seraient les produits dérivés. S'ils avaient raison, cela signifierait que la physique pourrait mettre la main sur le moteur même du temps. Voir le livre de Marc Lachièze-Rey, *Au-delà de l'espace et du temps, la nouvelle physique*, Le Pommier, 2003.

En attendant, si le cours du temps est bien la façon dont le temps « se donne » à la physique, la flèche du temps, elle, est seulement une propriété qu'ont ou n'ont pas les phénomènes physiques. Ceux qui sont réversibles n'ont pas de flèche temporelle ; les autres sont « fléchés ». Depuis Newton (mais en fait surtout à partir du milieu du XIX^e siècle), les physiciens se demandent si les phénomènes physiques peuvent ou non se dérouler « dans les deux sens ». Les éléments de réponse à cette question font intervenir selon Penrose sept champs d'arguments différents :

- le second principe de la thermodynamique, c'est-à-dire la croissance de l'entropie ;
- le problème de la mesure en physique quantique ;
- la violation de CP ;
- notre psychologie, qui distingue le passé du futur, à la différence du temps physique ;
- la flèche du temps radiative (on élimine les ondes avancées comme solutions des équations de Maxwell) ;
- l'expansion de l'univers ;
- la dynamique des trous noirs⁶.

Chacun connaît l'explication que Boltzmann de la flèche du temps : théorème H, il n'existe pas de flèche du temps mais le niveau macroscopique crée l'illusion qu'il y en a une. Argument qui sera retourné par Prigogine : « il existe une flèche du temps, mais le niveau microscopique crée l'illusion qu'il n'y en a pas ».

Il nous suffira ici de noter que ces éléments de réponse n'ont rien à voir avec ceux invoqués pour traduire le cours du temps et que nous avons évoqués plus haut (temps linéaire, impossibilité de dépasser la vitesse de la lumière dans le vide, existence de l'antimatière, invariance CPT...). Les façons de justifier le cours du temps ne recouvrent pas les façons de justifier la flèche du

⁶ Voir *Les tactiques de Chronos*, *ibid*, pp. 125-145.

temps. De là à dire que le cours du temps et la flèche du temps sont deux choses distinctes, il n'y a qu'un pas que je veux franchir.

Les sources de la confusion

Il est souvent arrivé que l'irréversibilité du temps et l'irréversibilité des phénomènes physiques soient confondues l'une avec l'autre. C'est soit le résultat d'une forme de désinvolture langagière, plus ou moins inconsciente, soit le fait de gens qui utilise délibérément cette confusion pour en faire une arme de guerre contre la physique réversible. Je pense à Prigogine, mais évidemment il ne fut ni le seul ni le premier.

Historiquement, à la fin du XIX^e siècle, ce sont les mêmes physiciens qui s'opposaient d'une part à l'atomisme et qui contestaient, d'autre part, l'interprétation de la flèche du temps proposée par Boltzmann. Était-ce une coïncidence ou bien l'interprétation statistique de Boltzmann fournissait-elle un moyen d'abattre l'atomisme de façon indirecte ? Ce qui est certain, c'est que ces gens voulaient abattre la mécanique (et, avec elle, l'idée de matière) au motif que, ne rendant pas compte du devenir, de l'irréversibilité, elle ne rendait pas compte du temps tout court.

On se souvient qu'à la fin du XIX^e siècle, les énergétistes, tel Wilhelm Ostwald, Ernst Mach ou Pierre Duhem, farouches adversaires de la mécanique et de l'atomisme, prenaient prétexte de la réversibilité des équations de la mécanique pour affirmer que celles-ci niaient la réalité même du temps. Ostwald écrit, en 1895 : « La proposition suivant laquelle tous les phénomènes naturels peuvent être finalement réduits aux phénomènes mécaniques ne peut même pas être admise comme une hypothèse de travail utile : elle est simplement une erreur. Cette erreur se montre plus clairement par le fait suivant : toutes les équations de la mécanique ont la propriété d'admettre le renversement du signe des quantités temporelles. C'est-à-dire, des processus en théorie parfaitement mécaniques peuvent se développer également en avant et en arrière (dans le temps). Ainsi, dans un monde

purement mécanique, il ne pourrait y avoir y avoir un avant et un après comme nous avons tous dans notre monde.» (W. Ostwald, Verh. Ges. Deutsch. Naturf. Artzte, 1 155 (1895), Rev. Gen. Sci. 6, 956 (1895). Il s'agit là d'un bel exemple de confusion, me semble-t-il, entre cours du temps et flèche du temps. Chez Newton, il y a bien un avant et un après, parfaitement définis, puisque précisément, il y a un cours du temps.

Boltzmann fit cette réponse à Ostwald : « Constatant que les équations différentielles de la mécanique sont invariantes si l'on change le signe de la variable temporelle, monsieur Ostwald conclut qu'une vision mécanique du monde est incapable d'expliquer pourquoi les processus naturels ne se déroulent que dans un seul sens. Mais une telle conception oublie que les événements d'ordre mécanique sont déterminés non seulement par des équations différentielles, **mais aussi par des conditions initiales**. Tout à fait à l'opposé de Monsieur Ostwald, je considère donc que le succès le plus brillant de la mécanique est justement de nous fournir une image très précise de la dissipation d'énergie, dès lors que l'on suppose que le monde a commencé dans un état initial satisfaisant certaines conditions initiales ». Tout le problème, et vous savez bien que ce reste une difficulté, est donc déplacé vers celui des conditions initiales : pourquoi ont-elles été si particulières ?

Il faut savoir que Ostwald était un sacré adversaire, qui pratiquait volontiers l'amalgame : il voyait par exemple une analogie entre le passage de la chaleur d'une température haute à une température basse et la chute d'un poids d'une certaine hauteur à une hauteur moindre. Max Planck raconte dans son autobiographie qu'il eut toutes les peines du monde à lui expliquer que ces deux phénomènes diffèrent l'un de l'autre aussi essentiellement que le premier et le second principe de la thermodynamique (voir Max Planck, *Autobiographie scientifique*, Champs Flammarion, 1991, p. 80).

Finalement, confondre cours du temps et flèche, c'est comme confondre le premier et le second principe de la thermodynamique. Le premier traduit la conservation de l'énergie, c'est-à-dire l'invariance des lois physiques par

translation du temps (théorème de Noether), tandis que le second explicite le sens d'évolution des systèmes physiques *au cours du temps*. Ce que dit le premier principe, c'est que les lois physiques ne changent pas : seuls les états physiques changent, et c'est le « rôle » du second principe de nous dire selon quelle « pente » ils changent.

Précisons une dernière fois, histoire de bien mettre les points sur les i, que la question de la flèche du temps n'est nullement de savoir si l'on peut remonter dans le passé, mais de déterminer si les lois physiques autorisent ou non les systèmes physiques à retrouver *plus tard*, dans l'avenir, dans leur *propre* avenir, l'état qu'ils ont connu dans leur passé. Les deux choses sont bel et bien distinctes, ainsi que la physique newtonienne nous le montre en proposant une théorie dans laquelle le temps a un cours mais n'a pas de flèche : les voyages dans le temps y sont structurellement interdits, mais un système physique peut toujours retrouver dans l'avenir un état physique qu'il a déjà connu dans le passé.

D'où vient l'impression que nous avons que le temps passe ? Et d'où vient la distinction entre passé et futur ?

Une question subsume toutes les autres : l'avenir existe-t-il *déjà* tout fait dans le futur ou nous appartient-il au contraire, sinon de le construire, du moins de l'*informer* ?

D'ordinaire, nous représentons le cours du temps par un axe fléché. Cette figuration nous semble posséder l'évidence du naturel, car elle est une sorte de sublimation de l'image du fleuve. Mais en réalité, elle aiguise et concentre, sans vraiment les résoudre, certains problèmes philosophiques que pose le temps : par exemple, elle ne dit rien du statut de l'avenir, ni de son lieu, ni de sa concaténation au présent.

Notons d'abord qu'une telle représentation est foncièrement incomplète puisqu'elle omet d'indiquer comment l'axe du temps se construit. Le présent

n'amenant pas de lui-même un autre présent, il faut donc bien que quelque chose fasse ce travail à sa place. Mais qu'est-il donc, ce « petit moteur » qui tire le fil et qui, continuellement, renouvelle le présent ? Nul ne le sait. En définitive, le mystère du temps existe moins dans la ligne par laquelle on le figure que dans la dynamique cachée qui construit cette ligne : par quel mécanisme (sous l'effet de quelle force) demain finit-il toujours par devenir aujourd'hui ?

Ensuite, on doit s'interroger sur la localisation de cette ligne. Flotte-t-elle dans le vide ou s'appuie-t-elle sur « quelque chose » ? Dans quoi le temps se déploie-t-il ? Lui qui est censé tout englober, comment pourrait-il être représenté *dans* quelque chose ? On peut envisager deux types de réponses à ces questions : soit le temps crée le monde au fur et à mesure qu'il passe, instant après instant, comme s'il le portait sur ses propres épaules ; soit il ne fait que parcourir un territoire *déjà là*, présent de toute éternité. Selon la première interprétation, la représentation du temps par une ligne figure la production même de cette ligne, comme si le temps créait lui-même les instants qui le constituent, comme si une force créatrice inhérente au présent en faisait à chaque fois une entité nouvelle, pas encore tout à fait jouée. Selon la seconde interprétation, elle figure plutôt une sorte de scène infinie, déjà et intégralement déterminée, *en attente* de ce qui, inéluctablement, s'y produira.

Si l'on choisit la deuxième hypothèse, alors tout se passe comme si l'avenir existait *déjà* dans le futur, sans que rien puisse en être modifié : le passé, le présent et l'avenir ont toujours été là, reliées indistinctement en une espèce de réalité intemporelle, de sorte que l'univers n'a pas d'histoire proprement dite, mais nous, les « observateurs », nous lui en attribuons une du fait que nous déroulons nous-mêmes le fil du temps. Il n'est pas indifférent de noter que ce point de vue surprenant a eu les faveurs de certains physiciens inspirés par la relativité einsteinienne. Il était notamment défendu par Hermann Weyl, ami très proche d'Einstein, qui écrivait : « Le monde objectif tout simplement *est* ; il n'*advient* pas. C'est seulement au regard de ma conscience, avançant en

rampant le long de la ligne d'univers de mon corps, qu'une section de ce monde vient à la vie dans l'espace comme une image fugace, qui change continuellement dans le temps ». En somme, le monde ne passerait pas, mais nous le ferions passer en y passant : tout aurait donc toujours été là, mais nous ne découvririons cette réalité temporellement déployée que pas à pas, seconde après seconde.

Aujourd'hui, c'est Thibault Damour qui développe à sa manière des idées qui vont dans le même sens et qui le conduisent à affirmer tout à la fois que le temps n'existe pas et que l'univers a quinze milliards d'années. Selon lui, le fait que le temps passe n'est qu'une illusion que nous devons au caractère irréversible de notre mise en mémoire : « De même que la notion de température n'a aucun sens si l'on considère un système constitué d'un petit nombre de particules, de même il est probable que la notion d'écoulement du temps n'a de sens que pour certains systèmes complexes, qui évoluent hors de l'équilibre thermodynamique, et qui gèrent d'une certaine façon les informations accumulées dans leur mémoire »⁷. Le temps ne serait donc qu'une apparence d'ordre psychologique : « dans le domaine d'espace-temps que nous observons, écrit-il encore, nous avons l'impression qu'il s'écoule « du bas vers le haut » de l'espace-temps, alors qu'en réalité ce dernier constitue un bloc rigide qui n'est nullement orienté a priori : il ne le devient que pour nous ».

Se pourrait-il donc - sérieusement - que nous soyons *nous-mêmes* le moteur du temps ? Cette thèse, qu'on l'appuie sur la relativité générale ou sur un idéalisme philosophique, est aussi difficile à accepter qu'à exclure.

Mais récemment, il y a eu le travail de James Hartle (l'un des pères de la théorie de la décohérence) qui reprend les travaux de Gell-Mann à propos des IGUS (Information Gathering and Utilizing Systems, SCUI en français). Pour lui, la question de savoir pourquoi nous ne nous souvenons pas du futur

relève non de la physique, mais des sciences cognitives. Dans cette perspective, il essaie de comprendre à partir d'une modélisation simple d'un IGUS comment l'histoire propre d'un IGUS engendre *pour lui* une différence entre le passé et le futur, distinction qui n'existe pas d'elle-même dans l'espace-temps.

L'ambiguïté sémantique d'Eddington

Mais d'où vient que les physiciens eux-mêmes, lorsqu'ils parlent du temps, utilisent parfois indifféremment les expressions *cours du temps* et *flèche du temps* ? Rappelons d'abord que c'est au physicien britannique Arthur Eddington que l'on doit l'introduction dans le champ de la physique, en 1928, de l'expression « flèche du temps » (cela s'est lors d'une conférence Gifford). Il voulait ainsi symboliser le constat qu'il est impossible de modifier le cours de certains phénomènes. Mais force est de reconnaître que sa façon d'évoquer (et surtout de définir) la flèche du temps est ambiguë. Dans son livre *The Nature of the Physical World*, il pose en termes alambiqués la question suivante : « Pourquoi ne pas faire l'hypothèse que le devenir est une sorte de texture à sens unique impliquée fondamentalement dans la structure de la nature ? L'esprit a une connaissance spéciale de cette texture et l'appréhende comme le passage du temps. Du fait de cette texture à sens unique, l'élément de hasard s'accroît constamment dans le sens de la tendance naturelle, et fournit ainsi commodément au physicien un critère expérimental pour déterminer le chemin qu'elle suit ; mais c'est la tendance, et non cette conséquence particulière qui en résulte, qui est la contrepartie physique directe du « devenir ». »⁸ Le moins que l'on puisse dire est que cette phrase est ... confuse ! On devine pourtant ce qu'Eddington veut dire : d'une part, le devenir lui-même est inscrit dans la structure de l'univers sous la forme d'une

⁷ Thibault Damour, Jean-Claude Carrière, *Entretiens sur la multitude du monde*, Editions Odile Jacob, 2002, p. 52.

⁸ Arthur Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge UP, 1928, p. 95-96.

tendance constitutive à l'augmentation de la part du hasard, c'est-à-dire de l'entropie ; d'autre part, la sensation que nous avons de l'écoulement du temps n'est rien d'autre que l'expression d'une capacité qui nous est donnée d'apprécier et de mesurer le désordre que comporte l'univers. En somme, nous ne serions pas capables de sentir le cours du temps, mais seulement la croissance de l'entropie, c'est-à-dire l'irréversibilité de certains phénomènes physiques (voir à ce propos les citations précédentes d'Aristote et de Hume). Pour Eddington, l'univers est un système isolé, redevable du second principe, ce qui signifie qu'à terme la flèche du temps y aura disparu. C'est ce qu'il appelle le «running-down of the universe ».

Peut-être tout cela est-il vrai, mais cela n'implique nullement qu'il faille réduire le temps à ce qui oriente la croissance de l'entropie. Car comme Wittgenstein l'a fort bien noté dans les *Remarques mêlées*, « ce que dit Eddington sur « le sens du temps » et la loi de l'entropie revient à ceci que le temps changerait son sens si les gens commençaient un jour à marcher à reculons. Si l'on veut, on peut, il est vrai, appeler cela ainsi ; mais il faut seulement, à ce moment-là, avoir les idées claires sur le fait qu'on ne dit par là rien de plus que : les hommes ont changé leur sens de la marche »⁹.

De plus, dans l'état final de l'équilibre thermodynamique, il y a certes encore un cours du temps, mais ce temps n'a plus de flèche. Or à ce propos, Eddington écrit : « à l'équilibre thermodynamique, le temps est toujours là et conserve ses propriétés ordinaires, mais il a perdu sa flèche ; comme l'espace, **il s'étend, mais il ne « passe pas »** »¹⁰. Ce sont ces derniers mots, que j'ai marqués en gras, qui ont sans doute engendré la confusion dont on observe aujourd'hui encore les effets : car quand la flèche du temps disparaît, c'est-à-dire quand l'évolution du système devient stationnaire, quand il ne se passe plus rien de neuf, le cours du temps, lui, continue à fabriquer de la durée, une

⁹ Ludwig Wittgenstein, *Remarques mêlées*, texte allemand et traduction de Gérard Granel, GF Flammarion, 1984/2002, p. 73.

¹⁰ **Ibid, p. 85.**

durée qui n'accueille certes aucun changement, mais qui garantit simplement la permanence du système.

En somme, si le temps a toujours un cours, les phénomènes qu'il porte, eux, n'ont pas toujours de flèche.

Dans la propagation de la confusion engendrée par Eddington, Ilya Prigogine a joué un rôle décisif, comme je le disais au début de mon exposé.