

# L'ORIGINE QUANTIQUE DU TEMPS

*Le passé n'est pas toujours gravé dans la pierre,*

*aussi pourrions nous être capable de le changer.*

*Ceci est un article très intéressant de [Philip Ball](#), écrivain scientifique et ancien éditeur de la prestigieuse revue "Nature" pour laquelle il continue d'écrire régulièrement, que je me suis permis de traduire et de commenter dans le texte (NDT en italiques):*

La science a l'habitude de poser des questions stupides. Stupide, selon les standards du bon sens. Mais maintes et maintes fois, nous avons constaté que le bon sens est un mauvais guide pour comprendre ce qui se passe réellement dans le monde.

Donc si votre réponse à la question "Pourquoi le temps va t-il toujours en avant et pas en arrière?" est qu'il s'agit d'une question stupide, alors soyez simplement patient.

Certes, nous pouvons dire que l'avenir n'affecte pas le passé parce qu'il n'a pas encore eu lieu. En fait pas vraiment, car la question de savoir d'où vient la flèche du temps est plus subtile et compliquée qu'il n'y paraît.

Qui plus est, cette déclaration pourrait même ne pas être vraie. Certains scientifiques et philosophes pensent que l'avenir pourrait effectivement affecter le passé - bien que nous ne puissions savoir quand l'avenir arrive. Et il se pourrait que cela provienne d'une propriété émergente de la mécanique quantique.

À toutes fins utiles, le temps semble avoir une direction.

Notre expérience quotidienne nous montre clairement le fait que les choses ne se produisent que dans un sens. Les tasses de café deviennent toujours plus froides, jamais plus chaudes, quand on les laisse reposer. Si on la laisse tomber au sol, la tasse éclate et le café se projette partout, mais les éclats et les éclaboussures ne se rassemblent jamais spontanément dans une tasse de café.

Pourtant, rien de ce flux unidirectionnel du temps n'est apparent lorsque vous regardez les lois fondamentales de la physique: les lois qui, disons, décrivent comment les atomes rebondissent les uns sur les autres.

Ces lois du mouvement ne font aucune distinction quant à la direction du temps. Si vous avez regardé une vidéo de deux boules de billard rebondissant loin l'une de l'autre après leur collision, vous êtes incapable de dire si cette vidéo a été exécutée en avant ou en arrière.

La même symétrie de temps s'observe dans les équations de la mécanique quantique, qui régissent le comportement des petites choses comme les atomes. Alors, où la flèche du temps entre-t-elle en scène?

Il y a une réponse de longue date à cela, qui dit que la flèche du temps n'apparaît que lorsque vous commencez à penser à un grand nombre de particules.

**[NDT: c'est la raison pour laquelle j'ai fait [des calculs de billards](#) à grand nombre de boules]**

Le processus de collision entre deux atomes semble parfaitement réversible. Mais quand il y a beaucoup d'atomes, leurs interactions conduisent inévitablement à une configuration aléatoire - tout simplement parce que c'est de loin la configuration la plus probable.

Supposez que vous avez un gaz de molécules d'azote dans la moitié d'une boîte et des molécules d'oxygène dans l'autre, séparés par une paroi. Si vous retirez la paroi, les mouvements aléatoires des molécules mélangeront rapidement et complètement les deux gaz.

Il n'y a rien dans les lois de la physique pour empêcher l'inverse de se produire. Un mélange des deux gaz pourrait spontanément se séparer en oxygène dans une moitié de la boîte et de l'azote dans l'autre, juste par hasard.

Mais cela n'arrivera jamais en pratique, car la probabilité de voir ces milliards de molécules se déplacer de cette façon [**NDT: se "démélanger"**] est infime. Vous devrez attendre plus longtemps que l'âge de l'Univers pour que la séparation spontanée se produise. Cette inexorable croissance de l'aléatoire est enchâssée dans la seconde loi de la thermodynamique. La quantité de hasard (ou désordre) est mesurée par une quantité appelée entropie, et la seconde loi dit que, dans tout processus, l'entropie totale de l'Univers augmente toujours.

Bien sûr, nous pouvons diminuer l'entropie d'un groupe de molécules, disons en les triant les uns les autres. Mais faire ce travail libère inévitablement de la chaleur, ce qui crée plus de désordre - plus d'entropie - ailleurs. Habituellement, il n'y a pas de moyen de contourner ce problème.

Cependant, la flèche entropique du temps devient moins bien définie à des échelles plus petites. Par exemple, les chances de trois molécules d'oxygène et de deux molécules d'azote de se "démélanger" brièvement sont assez bonnes. Cela a été illustré par une étude de 2015. Les chercheurs qui étudient des molécules isolées ont découvert que la croissance de l'entropie est une bonne mesure de l'ampleur de l'irréversibilité du système dans le temps.

Cet argument sur l'entropie, qui a été élaboré à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle par le scientifique autrichien Ludwig Boltzmann, est souvent considéré comme une réponse complète et satisfaisante à l'énigme de la flèche du temps.

Mais il s'avère que l'Univers détient des secrets plus profonds. Lorsque vous commencez à regarder de très petites choses, l'histoire bien nette de Boltzmann devient de plus en plus embrouillée.

Dans l'image de Boltzmann, il faut un certain temps pour que la flèche du temps trouve sa direction. Dans les minuscules fractions d'une seconde après que la paroi de séparation entre les deux gaz a été retirée, avant que n'importe quelle molécule ait vraiment bougé n'importe où, rien ne montre quelle est la direction du temps.

L'entropie augmente lorsque les collisions entre les atomes diffusent leurs énergies, comme par exemple lorsque la chaleur du café chaud se propage dans l'air environnant. Ce processus, qui lessive les réservoirs d'énergie, est appelé dissipation.

Jusqu'à ce que la dissipation commence à se produire, un processus considéré dans le sens du temps ressemble beaucoup à ce qu'il est à rebours du temps. Il n'a pas vraiment de flèche thermodynamique.

Mais il y a un processus unidirectionnel en mécanique quantique qui se produit beaucoup plus rapidement. **C'est ce qu'on appelle la décohérence.**

À l'échelle quantique, les particules se comportent comme si elles étaient des vagues. Cela a des conséquences particulières.

Par exemple, si vous tirez des électrons individuels ou des atomes entiers à travers deux fentes étroitement espacées vers un écran, ils vont interférer les uns avec les autres comme s'ils étaient des vagues. Mais cela ne se produit pas avec des objets de taille ordinaire. Si vous jetez deux tasses à café à travers deux fenêtres ouvertes, elles ne vont pas interférer l'une avec l'autre.

La décohérence explique pourquoi les objets à l'échelle quotidienne des tasses à café ne montrent pas le comportement ondulatoire des objets quantiques.

Elle se produit parce que les particules quantiques peuvent être coordonnées [NDT: *intriquées*] dans leur ondulation quantique, mais s'il y en a beaucoup - comme les innombrables atomes dans une tasse de café - elles perdent rapidement toute coordination. Cela implique que l'objet qu'elles constituent ne peut plus avoir de comportement quantique.

La décohérence se produit en raison des interactions entre les objets et leur environnement: par exemple, l'impact des molécules d'air sur la tasse. La théorie quantique montre que ces interactions font rapidement en sorte que la "quantité" d'un objet de grande taille "fuit" [NDT: *se dilue*] dans son environnement.

Cela entraîne que l'objet ne prend plus que des caractéristiques uniques. La théorie quantique nous dit que les objets peuvent dévoiler l'un de leurs nombreux états possibles lorsqu'ils sont mesurés, mais dans notre monde quotidien, les objets n'ont que des états uniques avec des valeurs bien définies de leur position, de leur vitesse et ainsi de suite. La décohérence est alors considérée comme la façon dont ce «choix» de valeurs bien définies est appliqué.

La décohérence quantique est incroyablement rapide, parce que les interactions entre les particules sont extrêmement efficaces pour disperser la cohérence quantique.

Pour un grain de poussière d'un millième de centimètre de diamètre flottant dans l'air, les collisions d'autres molécules d'air vont détruire tout comportement quantique dans environ 0,000000000000000000000000000001 secondes. C'est un trillionième du temps qu'il faut pour que la lumière traverse la face d'un seul atome d'hydrogène.

Ceci est beaucoup plus rapide que le temps qu'il faut pour que la chaleur dans un grain de poussière soit redistribuée dans l'environnement. En d'autres termes, **la décohérence est plus rapide que la dissipation** - et cela semble fonctionner seulement dans un sens. Cela signifie que **la décohérence révèle la flèche du temps plus vite que la dissipation**.

Cela implique que la flèche du temps vient réellement de la mécanique quantique, et non de la thermodynamique comme l'a pensé Boltzmann.

En un sens, il doit en être ainsi, parce que tout est fait d'atomes, et la mécanique quantique est la bonne théorie à utiliser pour les atomes. "**La flèche thermodynamique du temps doit émerger du quantique**", a dit George Ellis de l'Université de Cape Town en Afrique du Sud.

Pourtant, les explications quantiques et thermodynamiques reviennent finalement au même: le brouillage de l'information.

**[NDT: ce "brouillage" de l'information traduit à mon sens le fait que la physique actuelle ne peut pas encore gérer la conservation de l'information, faute d'un modèle de l'espace-temps au nombre de dimensions approprié: six dimensions additionnelles sont à mon avis nécessaires pour réaliser cette prouesse, mais d'une manière encore inconnue mathématiquement (La théorie des cordes en donne toutefois un aperçu), c'est pourquoi j'ai proposé un modèle cybernétique atemporel pour simplifier (voir dans mon livre: "La physique de la conscience")]**

Il est facile de voir que le mélange de deux types de molécules de gaz est une sorte de brouillage, une destruction de l'ordre.

Mais la décohérence implique aussi un brouillage: de la coordination entre les «ondes» qui décrivent les objets quantiques. En effet, la décohérence vient de la façon dont les interactions avec les atomes, les photons et ainsi de suite dans l'environnement d'un objet emportent des informations sur l'objet et le dispersent aux alentours. Il s'agit en fait d'une version quantique de l'entropie.

Dans les deux cas classiques et quantiques, finalement, **la flèche du temps provient d'une perte d'information.**

**[NDT: Cette perte d'information irréversible provient à mon sens de la transition naturelle d'état classique vers quantique, laquelle est progressive à l'échelle macroscopique et explique l'augmentation de l'entropie: voir mon [papier dans Arxiv](#). Cette transition est toutefois difficilement détectable dans la pratique car elle est contrebalancée par le phénomène de décohérence]**

Cela offre une meilleure façon de penser à la flèche du temps. Elle indique la direction dans laquelle les informations sont perdues et ne peuvent jamais être récupérées.

Un processus n'est vraiment irréversible que lorsque les informations sur le changement sont perdues, de telle sorte que vous ne pouvez pas retracer ses étapes [NDT: initiales]. Si vous pouviez suivre le mouvement de chaque particule, alors en principe vous pourriez l'inverser et revenir à l'endroit où vous avez commencé. Mais une fois que vous avez perdu une partie de cette information, il n'y a pas de retour.

«**La perte d'information est un point clé**», explique Ellis. "À l'échelle macroscopique, cela donne la seconde loi".

**[NDT: Absolument. Le physicien Geoges Ellis, qui rejoint ainsi mon point de vue ci-dessus, propose d'ailleurs lui aussi un modèle dynamique de l'espace-temps - c'est à dire un futur déjà réalisé qui peut changer - mais qui reste à mon avis inexact car il envisage encore un passé macroscopiquement figé]**

Il n'est pas encore tout à fait clair que, dans le monde quantique, l'information soit vraiment perdue.

**[NDT: Il est normal que cela ne soit pas clair puisqu'il ne s'agit pas d'une perte d'information quantique mais d'information classique !]**

Certains chercheurs pensent que la décohérence seule est suffisante. Mais d'autres disent que l'information, bien que maculée et dispersée dans l'environnement, est encore récupérable en principe. Ils pensent qu'un processus additionnel, plutôt mystérieux et appelé «effondrement de la fonction d'onde» - dans lequel l'ondulation quantique est irréversiblement perdue - a lieu.

C'est seulement alors, disent-ils, que la flèche du temps pointe sans ambiguïté dans une direction.

***[NDT: Il y a bien un processus additionnel d'informations dans l'effondrement de la fonction d'onde, qui restera mystérieux aussi longtemps que les physiciens continueront de travailler avec un modèle d'espace-temps à seulement 4 dimensions. Ce processus additionnel correspond à un gain d'informations physiques, et non à une perte. La perte d'informations correspond au processus inverse: transition classique vers quantique. Le gain d'informations fait intervenir... la conscience, mais d'une façon générale seulement dans le futur = choix d'univers].***

Dans un cas comme dans l'autre, en physique quantique, nous ne pouvons effectivement dire qu'un événement est arrivé si nous avons perdu l'option de le rendre "non arrivé".

La flèche du temps semble refléter un processus de l'Univers "s'engageant lui-même" à quelque chose, plutôt que de couvrir ses paris en permettant de nombreux résultats différents. C'est cette «cristallisation» du présent classique à partir du passé quantique, dit Ellis, qui produit une direction dans le temps.

***[NDT: j'adore cette expression: l'univers "s'engageant lui-même" c'est à dire faisant un choix: il faudra bien un jour ou l'autre introduire le libre arbitre ou plus simplement la finalité en physique :) ]***

Cette idée s'inscrit parfaitement dans l'une des expériences de pensée les plus célèbres de la physique.

La deuxième loi de la thermodynamique dit que les choses tendent à devenir plus aléatoires, mais c'est seulement parce que leur répartition aléatoire est de loin la plus probable. À la fin du XIXe siècle, le physicien écossais James Clerk Maxwell a proposé ce qui semblait être un moyen de contourner ce problème.

Maxwell imagina un minuscule être intelligent qui pouvait observer les mouvements aléatoires des molécules. Ce «démon» pourrait "démélanger" deux gaz, en ouvrant et fermant une porte juste aux bons moments.

Le démon de Maxwell semble violer la seconde loi, mais en fait il ne peut pas. La raison est que le démon doit accumuler l'information dans son cerveau lorsqu'il observe les mouvements moléculaires. Pour y arriver, il doit supprimer les informations précédentes, et cela augmente l'entropie.

C'est l'acte d'effacement de l'information, d'oubli, qui garantit la flèche thermodynamique du temps. **Encore une fois, la clé est la perte d'information.**

***[NDT: Ce qui veut bien dire que cette perte d'information est bel et bien une perte d'information physique, qui se traduit ici dans un cadre thermodynamique tout à fait classique]***

Cependant, l'image mécanique quantique de la flèche du temps conduit à quelque chose de profondément particulier. Dans certaines expériences, il semble que les influences peuvent fonctionner à rebours du temps. L'avenir peut affecter le passé.

**[NDT: Nous y voilà. Si le temps émerge du quantique vers le classique, il n'y a pas encore de temps à l'échelle quantique et donc tout y est simultané, donc l'avenir pourrait affecter le passé]**

Prenez l'expérience à double fente, dans laquelle une particule quantique comme un photon de lumière est tirée à travers deux fentes étroites sur un écran.

Supposons que nous ne mesurons pas de quel côté la particule est allée, et donc on ne peut pas dire par quelle fente elle est passée. Dans ce cas, nous voyons un motif d'interférence - une série de bandes claires et sombres - quand les particules émergent du côté opposé.

Cela reflète le caractère ondulatoire des particules quantiques, parce que l'interférence est une propriété d'onde. L'interférence persiste même lorsque les particules traversent les fentes une par une, ce qui n'a de sens «intuitivement» que si l'on imagine chaque particule passant, comme une onde, à travers les deux fentes à la fois.

Cependant, supposons maintenant que nous plaçons un détecteur par les fentes pour révéler par laquelle la particule passe. Dans ce cas, la figure d'interférences disparaît, et les particules agissent plus comme des grains de sable ciblés dans des trous. La mesure du trajet d'une particule détruit son ondulation.

Voici maintenant une chose vraiment étrange. Nous pouvons régler l'expérience afin de ne détecter la fente qu'une particule a traversé qu'après qu'elle l'ait fait. Et pourtant nous ne voyons toujours pas de figure d'interférence. Comment la particule «sait-elle» qu'elle va être détectée après avoir traversé l'écran, de sorte que lorsqu'elle atteint les fentes, elle «sait» si elle doit traverser les deux fentes ou seulement une? Comment la mesure ultérieure peut-elle affecter le comportement antérieur? Cet effet est appelé «rétrocausalité», et il semble impliquer que la flèche du temps n'est pas aussi strictement unidirectionnelle qu'il n'y paraît. Mais est-ce vraiment cela?

La plupart des physiciens pensent que la rétrocausalité dans ces expériences à choix retardé est une illusion créée par la nature contre-intuitive de la mécanique quantique.

Détecter une particule "après" qu'elle a traversé les fentes n'a pas vraiment d'influence sur le chemin emprunté, disent-ils. C'est la façon dont nous sommes forcés d'imaginer ce qui se passe lorsque nous essayons d'appliquer notre intuition classique aux événements quantiques.

"La post-sélection est comme un tour de passe passe qui donne l'illusion d'une causalité rétrograde alors qu'il n'en est en fait rien", dit Todd Brun de l'Université de Californie du Sud. «C'est comme le type qui tire à coté sur une grange et puis il y va et dessine une cible autour du trou de balle."

Cependant, d'autres disent que les effets de rétrocausalité sont une manière parfaitement valide d'interpréter de tels processus. **Selon Ellis, on peut considérer la rétrocausalité comme une sorte de flou dans la «cristallisation du présent». «La physique quantique semble permettre un certain degré d'influence du présent sur le passé, comme l'indiquent les expériences à choix différés», dit-il.**

Ellis a fait valoir que le passé n'est pas toujours entièrement défini à tout instant. C'est comme un bloc de glace qui contient de petites gouttes d'eau qui n'ont pas encore cristallisé.

**[NDT: Décidément, Ellis est sur la bonne voie à mon sens. Il y a bel et bien une cristallisation du présent dans l'émergence du temps, avec une rétrocausalité possible avant cette émergence, c'est à dire soit dans le futur, soit dans les zones du passé qui ne se sont pas encore cristallisées (ou qui ont été effacées). Il reste à Ellis à étendre cela à l'échelle macroscopique pour proposer un modèle dynamique du passé également].**

Même si les grandes lignes des événements à un instant particulier ont été décidés, certains des détails fins restent fluides jusqu'à une date ultérieure. Puis, quand cette «fixation» des détails se produit, il semble qu'ils ont des conséquences rétroactives.

Il est difficile de trouver les bons mots pour décrire cette situation.

**[NDT: Je trouve que l'auteur a déjà trouvé les bons mots :)]**

Certes, nous ne devrions pas imaginer une «force» remontant le temps et modifiant des événements antérieurs. Au lieu de cela, ces événements retardent dans leur acquisition de leur véritable statut - de ces choses qui sont effectivement "arrivées" ... ou pas.

**[NDT: Encore de bons mots car effectivement, cette "force" ou transmission de signal n'existe pas et dans une vision fluide de l'espace-temps, des choses peuvent arriver dans le passé après que ce qui les a initié soit arrivé dans le présent.]**

Alternativement, peut-être que ces événements passés sont réellement arrivés à l'époque, mais que les lois de la mécanique quantique nous interdisent de les voir plus tard. "Si le futur choix du détecteur oblige la particule à se comporter d'une certaine façon dans le passé, on doit considérer ce comportement passé comme "réel" à l'origine", dit Ken Wharton de l'Université d'État de San José en Californie.

La rétrocausalité quantique émerge tout naturellement si, au lieu d'essayer de forcer une flèche du temps en théorie quantique, nous laissons simplement la mécanique quantique fonctionner aussi bien dans les deux directions du temps. Huw Price, le collègue de Wharton de l'Université de Cambridge au Royaume-Uni a fait valoir que cette théorie permettrait vraiment la rétrocausalité. Cependant, Wharton admet que de telles théories retrocausales sont spéculatives.

Seule une poignée de physiciens et de philosophes ont adopté la rétrocausalité. La plupart considèrent la causalité rétrograde comme "un prix trop élevé à payer", dit Wharton.

**[NDT: C'est à cause de leur conception linéaire du temps leur imposant de comprendre la rétrocausalité comme un signal à rebours du temps, dont ils n'arrivent pas à se débarrasser]**

Mais il pense que nous ne résistons à cette idée que parce que nous ne sommes pas habitués à la voir dans la vie quotidienne.

**«Le fait que le passé ne dépende pas de l'avenir est une idée en grande partie anthropocentrique»,** dit Wharton. "Nous devrions prendre la récausalité apparente plus sérieusement que nous le faisons habituellement. Notre intuition a souvent été mauvaise auparavant, et cette fois la symétrie temporelle à des échelles quantiques nous donne une raison de penser que nous pourrions encore une fois nous tromper".

Si la flèche du temps n'est pas tout à fait unidirectionnelle comme il le semble, cela soulève une dernière question: pourquoi la percevons nous comme étant toujours orientée dans un sens?

Pourquoi la «flèche psychologique du temps» devrait-elle être alignée sur des caractéristiques physiques?

Encore une fois, cela pourrait sembler étrange. Si les lois de la physique dictent une flèche du temps, certainement notre perception du temps ne devrait-elle pas naturellement s'en suivre ? Mais ce n'est pas aussi évident que cela paraît.

Supposons que certaines particules se déplacent dans une boîte conformément aux lois physiques. Si vous connaissez toutes les positions exactes et les vitesses des particules juste en ce moment, vous pouvez prédire l'avenir exactement.

**[NDT: C'est complètement faux, à cause de la perte d'informations ! Décidément, à chaque fois qu'on avance un peu vite, on nous fait reculer :)]**

En principe, il n'y a rien dans l'avenir qui ne puisse être connu dans le présent. **[NDT: FAUX ]**. Pourquoi ne pourrait-on pas l'éprouver comme une «mémoire» du futur? Un peu comme un maître d'échecs voit bien à l'avance comment le jeu va inévitablement finir ?

Cette question est généralement balayée sous le tapis. **[NDT: Toute idée de finalité est balayée sous le tapis par la science depuis son origine]**. "Puisque la biologie repose sur les fondements de la chimie, qui reposent à leur tour sur les fondements de la mécanique quantique et de la thermodynamique, je pense que la plupart des gens croient que la flèche biologique du temps est une conséquence de la flèche thermodynamique", dit Brun.

Mais ce n'est pas une conclusion définitive. Brun et son collègue Leonard Mlodinow à l'Institut de Technologie de Californie à Pasadena ont fait valoir que les flèches psychologiques et thermodynamiques de temps sont effectivement indépendantes. Elles ne coïncident que par le fonctionnement de nos mémoires.

**[NDT: Attention à Mlodinow: il a tendance à raconter des bêtises en faisant des raisonnements circulaires. C'est notamment lui qui a fait dire à Stephen Hawking dans le livre "The great Design", dont il est coauteur, des énormités qui ne sont peut-être pas ce que Stephen pense réellement (la philosophie serait morte, nous serions des machines, nous n'avons pas besoin de Dieu, etc. : toutes ces affirmations reposent sur le postulat initial de ce livre qui impose un déterminisme scientifique temporel). ]**

La première partie de l'argument a été présentée par David Wolpert de l'Institut Santa Fe au Nouveau - Mexique. Il a dit que, avant que vous puissiez vous souvenir de quelque chose, vous devez initialiser votre mémoire dans un état de démarrage standard; C'est comme nettoyer votre disque dur pour faire de l'espace pour de nouvelles données.

**[NDT: C'est cela oui... Un petit coup de transhumanisme, ça fait pas de mal. Ne pas oublier que la vraie mémoire, celle dont il est question ici, n'est pas selon moi dans le cerveau physique. Ce dernier ne contient à mon sens que les informations permettant de reconnaître ou d'adresser la vraie mémoire. ]**

Mais comme le démon de Maxwell nous l'a montré, l'effacement de l'information augmente toujours l'entropie. Cela signifie que l'initialisation est un processus irréversible, et donc ne fonctionne que dans le temps.

Cependant, Mlodinow et Brun disent que cet argument n'est pas tout à fait complet. En principe, vous pouvez éliminer tout besoin d'effacement et d'initialisation en vous rappelant tout. Ensuite,



l'enregistrement des informations dans la mémoire peut être entièrement inversé, et il n'y a donc pas de flèche physique du temps.

Dans ce cas, ils soutiennent que la flèche psychologique du temps est encore préservée, par quelque chose qu'ils appellent «généralité».

**[NDT: Bonjour le raisonnement ! Ca sent le produit de calfeutrage de fissures à plein nez]**

Le problème avec le souvenir de l'avenir actuel, c'est qu'il peut toujours y avoir des événements "surprise" qui font échouer le lien entre l'état du système actuel et son état à l'avenir. Je peux "me rappeler" que mon horloge affichera 11 heures dans une heure - mais si la batterie s'épuise dans dix minutes, ma "mémoire" sera fausse.

Une mémoire réelle ne peut être subordonnée au fait que le système se comporte d'une certaine manière, disent Mlodinow et Brun. Elle doit rester générale, ce qui signifie qu'elle reste vraie quoi qu'il arrive. Ainsi, même si la mémoire est enregistrée dans un système réversible, l'exigence de généralité impose une directionnalité dans le temps.

Dans ce cas, dit Brun, la raison pour laquelle nous ne pouvons pas nous rappeler l'avenir n'est pas simplement parce qu'elle n'a pas encore eu lieu. Au lieu de cela, c'est parce que la «mémoire» serait vraiment seulement une prédiction, qui pourrait ou non être correcte. Et ce n'est pas une vraie mémoire à moins qu'elle ne soit correcte.

**[NDT: Quand je vous disait que ça ne pouvait pas être une vraie mémoire :) ]**

Autrement dit, une «mémoire future» putative est finement ajustée à un résultat particulier, et doit être réajustée si un léger changement se produit entre maintenant et l'apparition de l'état futur "rappelé". Cela signifie qu'il est trop fragile de compter dessus comme pour une véritable mémoire.

**[NDT: On s'en serait douté ! ]**

Tout le monde n'est pas convaincu que Brun et Mlodinow ont résolu le problème.

Certains pensent que leur argument est circulaire **[NDT: Normal, Mlodinow est coutumier du circulaire, voir ci-dessus]**. Ils ont dû mettre dans l'asymétrie du temps à la main, tout ce qui rend possible aux événements actuels d'intervenir dans l'avenir, mais pas dans le passé - ce que certains estiment comme étant de la triche.

**[NDT: Bien pire que du raisonnement circulaire ou de la triche. C'est du calfeutrage de matérialisme qui se délite avec du mauvais ruban adhésif]**

Tout de même, en posant simplement la question, Brun et Mlodinow ont montré que la réponse n'est pas aussi évidente que nous pourrions le supposer. Notre perception du temps peut ne pas avoir grand chose à voir avec le réel passage du temps.

Ce qui est clair, c'est que la flèche du temps, qui semble être un fait de bon sens de la vie, est en réalité un concept profondément délicat. **Plus nous y regardons de près, moins nous pouvons être sûrs que la flèche du temps soit vraiment unidirectionnelle.**

**[NDT: Ca, c'est bien dit !]**