

→ Aperçu

edp sciences

LE TEMPS

EN IMAGES



CRAIG CALLENDER & RALPH EDNEY

Avertissement

La version en français que nous proposons ici est une adaptation qui conjugue le style simple en anglais, parfois simpliste dans ses affirmations, de l'auteur – avant tout un philosophe de formation – et la rigueur factuelle que doit respecter une maison d'édition scientifique française, surtout pour une série qui se veut accessible à un large lectorat en France et dans le monde francophone.

Aussi avons-nous pris le parti d'ajouter quelques notes d'explication a minima, faute de quoi les lecteurs allaient, nous semble-t-il, rester sur leur faim.

Nous avons ajouté, par exemple, des références bibliographiques de textes d'auteurs français qui traitent de la question du temps, quelques renvois aux textes d'origine en anglais cités et/ou consultés par le professeur Callender, y compris de courts extraits pour satisfaire le lecteur bilingue.

Enfin, nous nous sommes permis – là où cela s'imposait pour des raisons d'exactitude factuelle – quelques corrections, non seulement aux chiffres avancés dans certains passages un peu complexes, mais aussi pour signaler de petites erreurs manifestes de compréhension (par exemple sur le ruban de Möbius ou sur le train d'Einstein) justifiant cependant ces rares substitutions dans les notes de fin.

Dans la même collection :

La théorie quantique, J.P. McEvoy, O. Zarate
La physique des particules, T. Whyntie, O. Pugh
La psychologie, N. Benson

Édition originale: Time, © Icon Books Ltd, London, 2001.

Traduction: Alan Rodney

Imprimé en France par Présence Graphique, 37260 Monts

Mise en page de l'édition française: studiowakeup.com

ISBN : 978-2-7598-1228-8

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2014

Qu'est-ce que le temps ?

Le grand théologien et philosophe Augustin d'Hippone ou **saint Augustin** (en latin: Aurelius Augustinus), né en Algérie (354–430), dans son ouvrage *Les Confessions*, a décrit à quel point le concept du temps le perturbait.

Après avoir énuméré tout ce qu'il pouvait dire à ce sujet, sans savoir quelle en était la réalité – par exemple, que cela prend *du temps* rien que pour dire cette phrase –, il avoue être véritablement dans une « *situation pitoyable, car je ne sais même pas ce que j'ignore!* »¹



Saint Augustin n'était pas le seul à être perplexe. La question de la nature du temps et d'autres problématiques associées – telles que savoir si le passé et le futur sont réels, s'il est possible de voyager dans le temps, ou expliquer le sens de la « flèche » du temps – figurent parmi les questions les plus fascinantes et incontournables qui n'aient jamais existé.

Toutes sortes d'horloges

Dans la vie de tous les jours, nous connaissons bien deux sources qui rendent familier le concept du temps : les horloges qui nous entourent et notre sens (ou vécu) du temps qui passe.

On voit des horloges partout. Les pendules de nos aïeux, les réveils et même des horloges qui annoncent le temps en diffusant des parfums variés.

Il y a aussi les horloges naturelles.



Les horloges existaient bien avant que ne furent inventés les modèles portables que l'Homme a assemblés.

Il y a 4 000 ans, les Égyptiens dressaient des obélisques et lisaient les heures (et les saisons) par la position (et par la longueur) de l'ombre portée sur le sable, mais aussi au moyen de cadrans solaires et de clepsydres, mis en mouvement par le remplissage et le vidage réguliers d'une vasque où flottait un personnage qui marquait le temps de son bras, et d'un « pointeur ».

Les anciens Babyloniens, environ 1800 avant notre ère, savaient diviser² la journée en heures, chaque heure en 60 minutes et chaque minute en 60 secondes³.

Toutes les grandes civilisations du passé ont utilisé les positions du Soleil ou des étoiles pour «lire l'heure».

Ces horloges naturelles étaient très précises.

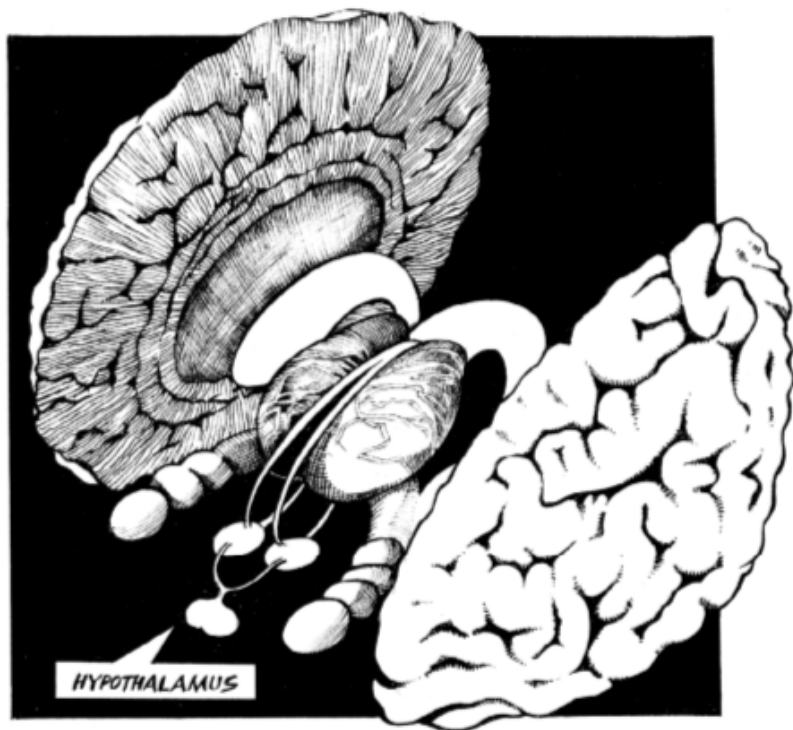


En observant les étoiles⁴ à l'œil nu, un astronome de l'Antiquité pouvait «lire l'heure» avec une précision d'environ 15 minutes. De nos jours, n'importe qui peut savoir à peu près l'heure qu'il est en localisant rapidement le Soleil dans le ciel.

Les horloges biologiques

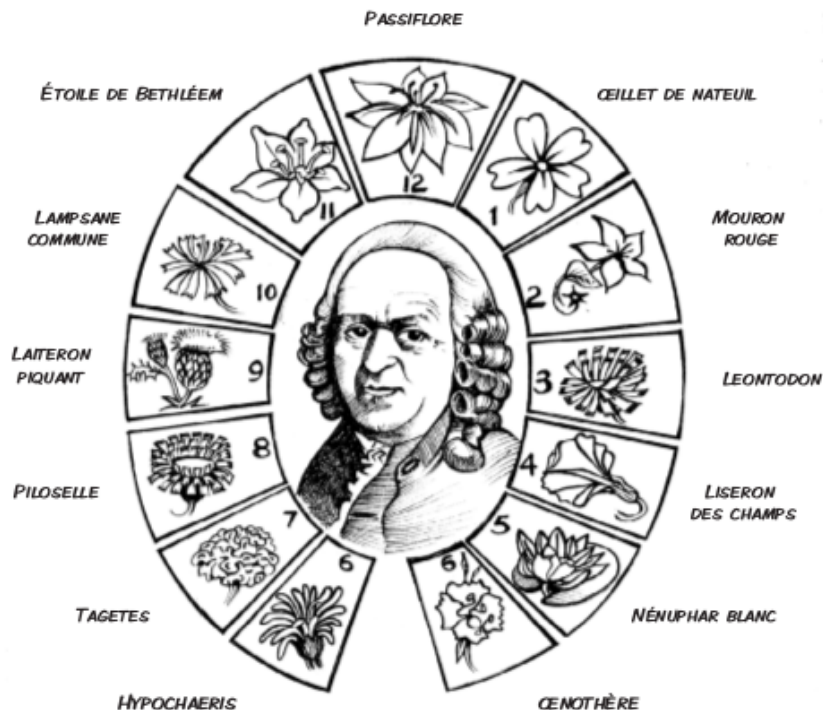
Nous portons en nous nos propres horloges, dites biologiques. Notre cœur pulse le sang dans notre corps à environ 70 battements par minute. Nos humeurs, notre capacité à nous concentrer et notre appétit suivent des fluctuations et schémas très réguliers, selon l'heure du jour, le cycle de la Lune ou des saisons.

Notre horloge biologique semble être intimement liée à un bloc de cellules nerveuses localisées dans notre hypothalamus⁶.



Ces cellules sont reliées à la rétine des yeux et permettent de réguler nos sécrétions d'hormones, la température de notre peau et nos cycles de sommeil et d'éveil. La mélatonine, une hormone, joue un rôle déterminant dans le contrôle de notre rythme journalier (dit circadien).

Nous n'avons pas l'exclusivité des horloges biologiques. Chaque organisme vivant semble en porter une. Certaines sont si précises que **Carl von Linné**, un naturaliste suédois de renom (1707-1778), avait même proposé une référence aux fleurs comme horloges naturelles⁶.



Ce qui surprend, c'est que les horloges biologiques ne sont pas toutes calées sur le jour, le cycle lunaire, les saisons ou même sur l'année. Un exemple est la cigale ou **Cicadidae**, que l'on connaît bien pour son «chant» l'été, qui vit d'abord 17 ans sous terre. Après ce très long enfouissement, les cigales émergent par milliers, toutes en même temps, grimpent dans les arbres, se reproduisent, puis meurent quelques heures plus tard. Les œufs sont pondus sous terre autour du tronc d'arbre et le cycle de 17 ans recommence.

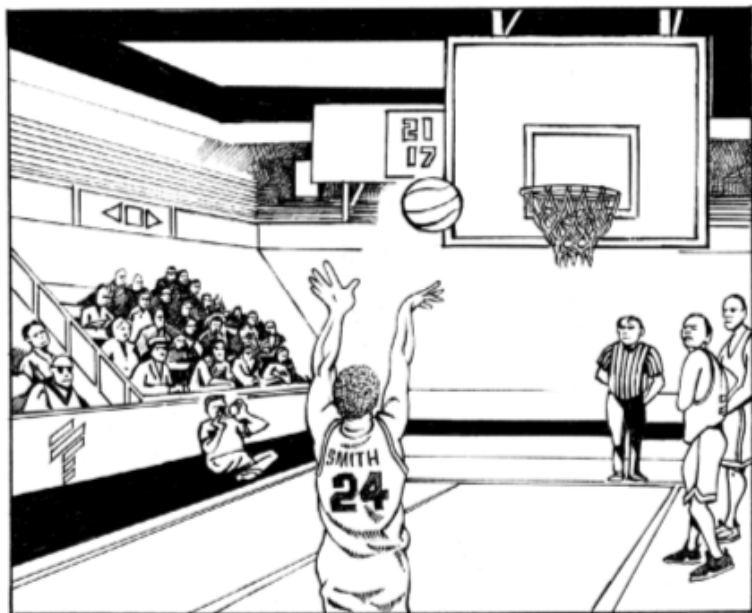
Qu'elles soient naturelles ou fabriquées par l'Homme, les horloges ont toujours aidé à ordonner les cycles de vie des Hommes. De nos jours, l'horloge contemporaine peut être source de stress, de beaucoup de stress !

Le temps psychologique, ressenti

Il nous arrive de sentir passer le temps. En plus du temps mesuré au moyen d'horloges, montres, etc., il existe un temps psychologique. Nous avons tous des souvenirs du passé et des projections vers l'avenir. Nous « ressentons » des durées temporelles de longueurs différentes. Chacun de nous est subjectivement conscient du temps qui s'écoule.

Tout le monde arrive à deviner approximativement le temps qui s'écoule entre deux événements.

Certains y excellent, comme s'ils avaient de vraies horloges internes, reliées on ne sait comment à leurs horloges biologiques.



Ce qu'il est intéressant de noter – s'agissant de ces horloges internes – est qu'elles semblent s'accélérer ou ralentir, selon que l'on soit d'accord ou non avec l'horloge interne d'autres personnes.

En prenant sa montre comme référence, un tour de manège (de type « grand huit ») peut durer seulement 11 secondes.

Ces 11 secondes vont paraître une éternité pour le passager à bord du wagonnet et rien du tout, ou presque, pour une personne dans la file d'attente du manège. Un match de basket peut sembler aller très, très vite pour l'enfant qui joue dans l'équipe et, en revanche, traîner en longueur pour les parents qui en sont à leur 20^e rencontre du mois !



Pour démarrer notre enquête et notre analyse du temps, il est important que nous nous rendions compte que le temps représente plus que de simples horloges ou même que notre vécu psychologique du temps qui passe. Le temps n'est pas seulement le réveil qui sonne sur le chevet ou quelque chose de notre esprit. Une fois cette prise de conscience réalisée, nous pouvons immédiatement aborder quelques questions à la fois étranges et profondes.

Le temps, simple vue de l'esprit?

Après avoir apaisé son angoisse initiale, saint Augustin a avancé que le temps n'a pas vraiment d'existence en dehors de notre tête et de notre esprit.



Avicenne (980–1037), philosophe perse, est d'accord avec saint Augustin.



Henri Bergson (1859–1941), philosophe français, a également défendu cette thèse.

Est-ce que cela peut être vrai ? Si les gens peuvent ne pas être d'accord sur la durée du temps, d'un événement..., ils le sont généralement sur l'ordre séquentiel des événements.

Par exemple, un père et son fils revenant d'un match de basket peuvent ne pas avoir vu une seule horloge depuis leur départ pour aller assister au match – le ciel était peut-être bien couvert, de sorte qu'ils n'avaient aucune idée de la position du Soleil.



Supposons à présent qu'ils devinent l'heure, avant de voir une horloge. Ils peuvent avoir un écart de plusieurs heures l'un par rapport à l'autre ! Ils peuvent même se disputer à propos de qui a raison et qui a tort, mais en général ils s'accorderont sur l'ordre de certains faits et gestes du match.

« Nous sommes d'accord que les lancers francs de Smith en 2^{de} mi-temps ont eu lieu après ses lancers francs de la 1^{re} mi-temps. »

« Et Joey a eu un doigt cassé quand Smith lui a marché dessus. »

Sauf dans de rares circonstances, tous ceux qui disposent de la même information sont d'accord sur l'ordre séquentiel des événements. Il y a ici quelque chose d'objectif et d'indépendant par rapport à l'esprit et aux sentiments relatifs à la séquence en question. L'objectivité quant à l'ordre d'événements démontre qu'il y a autre chose dans le concept du temps que notre seule sensation de son écoulement. Le fait est que les événements semblent être ordonnés dans une succession temporelle unique, indépendante de l'observateur.

Les horloges et le temps

Cet accord sur l'écoulement du temps s'applique-t-il seulement à ce que nous « dit » une horloge ? Peut-être le concept du temps se résume-t-il à l'existence d'horloges ? Cela constitue en soi une question profonde. Mais, du moins au premier abord, la réponse paraît être « non », car souvent nous entendrons dire qu'une horloge n'est pas à l'heure. Vous pouvez me dire que ma montre accuse 10 minutes de retard ou qu'elle est carrément arrêtée. Pour vous, ce sera peut-être une bonne excuse pour être en retard à un rendez-vous. Mais votre montre est-elle infaillible ? Même si c'est un modèle de grande qualité, nous savons qu'elle « perdra » ou « gagnera » quelques secondes chaque année.



Entre chaque tic-tac de l'horloge, nous voulons voir s'écouler exactement la même durée. Il n'est pas étonnant alors que les pendules – qui ont un mouvement périodique régulier, par quartz ou balancier – servent d'horloges. Mais le pendule n'est pas parfait – sur un navire en haute mer, son oscillation peut être perturbée, de même le mouvement peut être différent selon la température ambiante.

Prenons un pendule qui oscille. Comment savons-nous que le temps qu'il met pour effectuer un aller-retour est le même lors de sa seconde oscillation ? Ici, nous sommes face à un genre de questions qui illustre bien ce que le philosophe allemand **Hans Reichenbach** (1891-1953) a appelé « le problème de l'uniformité du temps ».



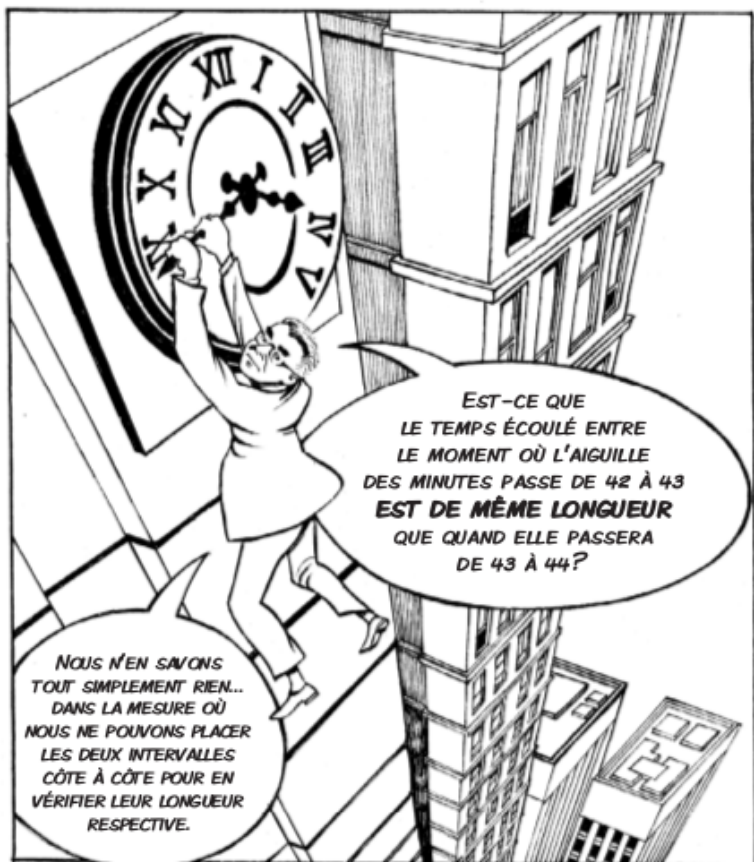
Primo, votre estimation personnelle du temps n'est pas scientifiquement assez précise. Nous avons besoin de vérifier que le temps du 1^{er} aller-retour est exactement identique à celui du second.

Secundo, votre sensation vis-à-vis de la durée est purement subjective. Vous pouvez affirmer que les durées sont identiques et un ami pourra affirmer le contraire.

Et *tertio*, le plus important, vous avez « mesuré » l'écoulement du temps avec la pensée. Mais à y réfléchir, la pensée peut elle-même être soumise à des, ou être le résultat de, processus physiques... Dans ce cas, nous avons ajouté une question à la question, c'est-à-dire que maintenant nous nous demandons quelle peut être la durée d'une pensée.

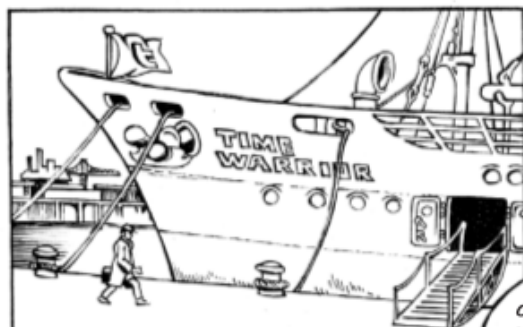
Comment mesure-t-on un intervalle de temps?

Nous ne savons pas mesurer directement un intervalle de temps. En fait, nous ne mesurons jamais le temps absolu. Cette minute-ci est-elle de la même durée que celle qui suivra? En un sens, bien sûr, la réponse est «oui», les minutes étant définies avec toujours la même durée. Mais notre propos se veut plus profond.



Revenons un instant aux mouvements du pendule. En dépit de notre incapacité à mesurer directement une durée, nous pouvons imaginer qu'un pendule est défectueux. Pourquoi? Eh bien, prenons un trublion qui insiste sur le fait que son pendule est infaillible. Aurait-il tort d'affirmer cela?

Supposons qu'il décide d'emmener son pendule par bateau jusque l'équateur. Même si nous faisons la part des mouvements perturbateurs de la coque du navire, nous pouvons nous attendre à ce qu'au moins deux autres facteurs affectent la régularité du pendule : l'atmosphère à l'équateur plus humide offre une plus



grande résistance au déplacement du pendule, et la force qu'exerce la gravité terrestre est un peu plus faible à l'équateur; par conséquent, le pendule ralentira.

**J'INSISTE :
CHAQUE BALANCEMENT
DU PENDULE A LA MÊME
DURÉE TEMPORELLE.**

**TRÈS BIEN,
MAIS SI VOTRE
PENDULE NE RALENTIT
PAS, IL Y A BIEN
D'AUTRES OBJETS
QUI ACCÉLÈRENT.**

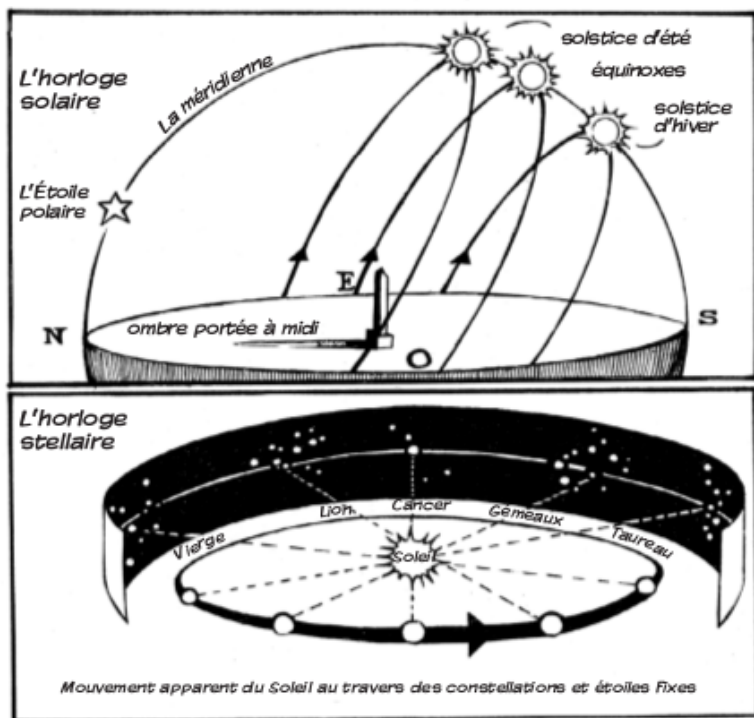


Le trublion va devoir prétendre que le bateau avance plus vite qu'avant, même si le vent soufflant sur les voiles reste constant, *idem* pour la force des courants marins, etc. De plus, il va devoir expliquer pourquoi toutes les horloges du monde ont commencé à accélérer, comme par magie, et pourquoi le Soleil a gagné en vitesse. Et puisqu'il ne pourra avancer d'explication pour ces changements, mais nous «si», il semblera juste de conclure que nous avons raison et lui tort. Notre hypothèse, que l'écoulement du temps peut être déterminé par le «mouvement» relatif des étoiles dans le ciel, est une affirmation plus scientifique que son hypothèse sur le mouvement imperturbable de son pendule.

Les horloges les plus fiables

Notons au passage que trois horloges se sont montrées très précises. Depuis les débuts de l'Humanité, le Soleil et la voûte étoilée la nuit ont joué un rôle très important.

Le Soleil « définit » les tic-tac réguliers d'une horloge, et ce chaque fois que le Soleil « traverse » la méridienne. La nuit, les étoiles aussi, chaque fois qu'une étoile donnée est observée « plein sud ». Ces deux horloges-là sont plus précises que mon bracelet-montre.



Je peux invoquer l'usure des piles de ma montre pour expliquer des différences avec l'heure donnée par le Soleil ou par les étoiles, mais je ne saurais imputer les différences sur une supposée accélération ou un ralentissement du Soleil ou des étoiles. Bien que ces deux « horloges » soient étonnamment précises (la nuit étoilée encore plus que le Soleil), il existe des horloges bien meilleures.

L'horloge atomique

Le développement de la physique des particules au cours du XX^e siècle, en particulier les idées avancées par le physicien américain Isidor Rabi (1898–1988), ont contribué au concept de l'horloge atomique, assemblée en 1949. Chaque atome possède ce que l'on appelle une fréquence de résonance naturelle et c'est cette oscillation extrêmement régulière qui sert à définir les tic-tac de l'horloge. Ainsi, les horloges atomiques se sont révélées plus régulières, plus constantes qu'une horloge solaire ou astronomique. En 1999, le National Institute of Standards and Technology (NIST), à Boulder dans le Colorado, a commencé à utiliser une horloge atomique baptisée NIST-F1 pour définir l'unité qu'est la seconde⁷.

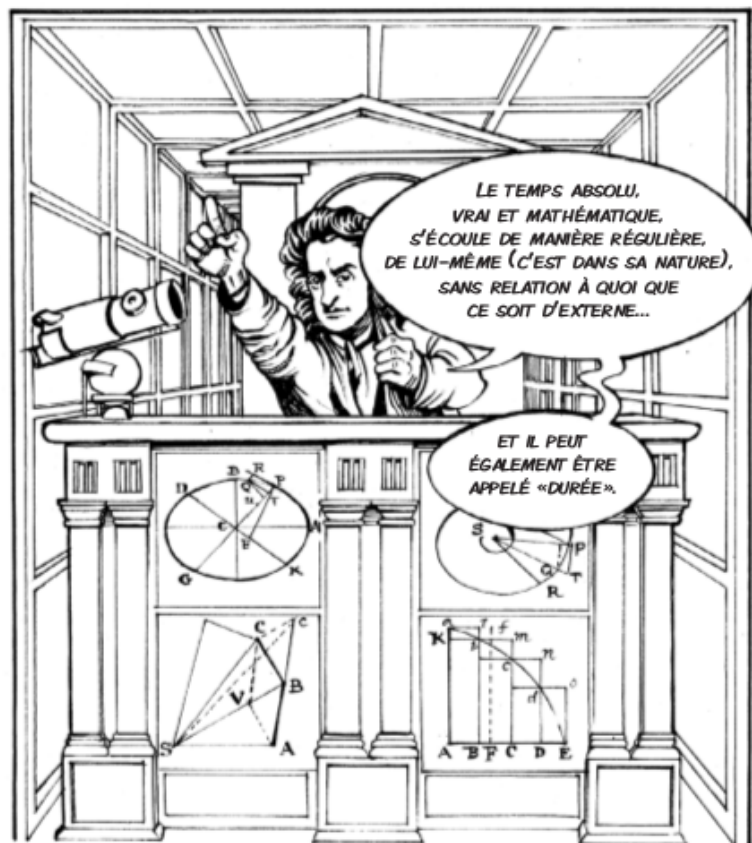


La seconde est définie scientifiquement comme la durée d'un peu plus de 9 milliards de vibrations d'un atome de césium. L'horloge NIST-F1 (ainsi qu'un autre modèle à l'Observatoire de Paris) est l'horloge la plus précise qui existe aujourd'hui. Avec un réseau d'autres horloges atomiques de par le monde, elle sert à fixer ce que l'on appelle le Temps Universel (TU), lequel, à son tour, sert à préciser la vitesse de la lumière, la longueur du mètre-étalon et ainsi de suite. Mais même cette horloge incroyablement précise va « perdre » une seconde entière tous les 20 millions d'années. Rien n'est parfait ici-bas!

Le temps absolu, vrai et mathématique

Si l'horloge NIST-F1 est la meilleure horloge physique que nous connaissons dans le monde, comment les scientifiques arrivent-ils à estimer qu'elle va perdre ne serait-ce qu'une seconde tous les 20 millions d'années ?

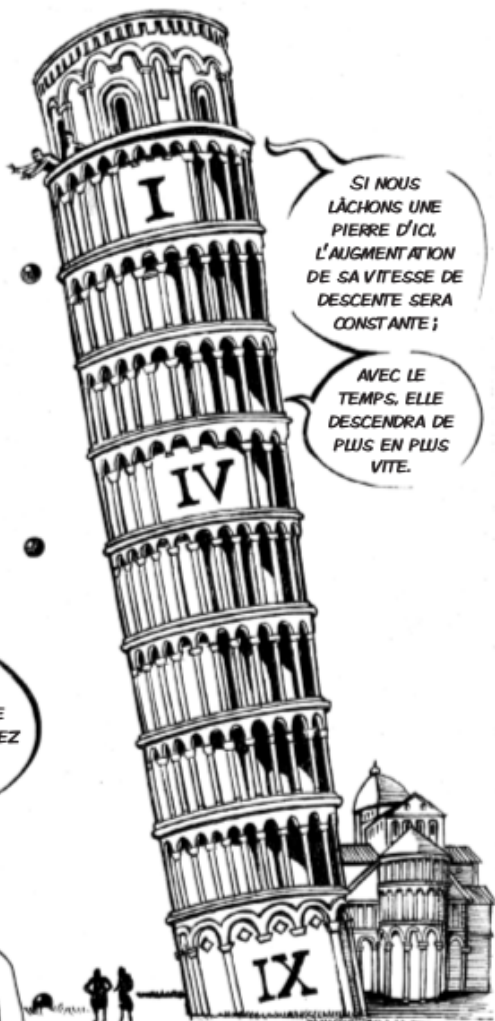
La réponse se trouve dans les lois de physique. C'est un point fondamental, clarifié on ne peut mieux par **Sir Isaac Newton** (1642–1727) – père de la mécanique classique et peut-être le plus grand physicien de tous les temps. Le temps, disait-il, ne doit pas être confondu avec sa « *mesure intelligente* ». Par cette expression, Newton voulait désigner les vraies horloges que nous consultons quotidiennement.



Le temps vrai, selon Newton, ne dépend d'aucune horloge en particulier, ni même de quelque objet matériel dans l'Univers. Le temps est ainsi indépendant du contenu de l'Univers.

C'est ce concept du temps que l'on trouve dans les lois immuables de la physique, celles qui nous indiquent où les choses se trouvent et **quand** elles y seront (ou doivent être). Ce faisant, la Nature tient pour acquise une mesure particulière du temps.

Par exemple, la physique classique nous dit que l'accélération d'un objet en chute libre est constante.



COMPTEZ LE NOMBRE DE SECONDES. CALCULEZ LE CARRÉ DE CE NOMBRE ET VOUS TROUVEREZ LA DISTANCE PARCOURUE PAR LA PIERRE.



Le temps « vrai »

Implicitement, les lois de la nature prévoient l'existence d'une horloge idéale, parfaite. Le temps vrai est celui qui confère leur véracité à ces lois. Si nous adoptons une mesure non standardisée, alors ces lois ne seraient pas « vraies » ou vérifiables. Si nous lançons une pierre du haut d'un immeuble et si nous mesurons le temps avec le pendule de notre explorateur, nous obtiendrions des résultats différents, selon que l'expérience se déroule en Grande Bretagne ou à l'équateur.



C'est de cette manière que les scientifiques ont déterminé que l'horloge atomique F1 va « perdre » du temps. Ce sont les lois actuelles de la physique qui fixent les choses. Et, comme il y aura de meilleurs comme de pires exemples d'horloges, aucune ne pourra rivaliser avec l'horloge parfaite qui gouverne l'Univers.



Selon Newton, nous ne devrions pas confondre nos horloges réelles mais imparfaites avec l'horloge parfaite et invisible, indépendante de tout objet physique qui indique **le temps**.

Certains ne sont pas d'accord avec Newton. Son concept d'un temps absolu nous interpelle et continue de susciter la controverse. Dans le langage des philosophes de la science, Newton est à la fois un *Réaliste* – en effet, il pense que le temps tel qu'inscrit dans les lois de la physique a une réalité spécifique – et un *Absolutiste* – car il est d'avis que **le temps** est totalement indépendant de tout processus physique.

Les Relationnistes : opposants au temps newtonien

Les opposants de l'Absolutisme, connus sous le nom de Relationnistes, disent que le temps pour l'essentiel réside dans *le changement* ou, pour être plus précis, dans *la mesure du changement*. Par « changement », nous entendons celui qui régit les relations entre objets physiques. **Aristote** (384–322 avant J.-C.), philosophe grec, définissait le temps comme la mesure du mouvement. Le temps est donc la mesure d'un processus physique comparé à un autre.



Contrairement à ce que nous enseigne le concept de Newton, le temps est indépendant du contenu physique de l'Univers, puisque le temps est défini en fonction des changements du contenu. Le temps pour Aristote est dépendant de la mesure intelligente – c'est-à-dire avec de véritables horloges physiques.

Du point de vue des Relationnistes, puisque le temps est dépendant de *mouvements physiques*, le temps ne s'écoule pas, dès lors qu'il n'y a pas de changement. Pouvons-nous imaginer – en regardant un ciel étoilé et en supposant que nous réussissions à arrêter les astres dans leur mouvement – que l'on puisse encore sentir passer le temps? Aristote, qui s'était penché sur cette question, a indiqué que dans pareille situation nous serions toujours en train de mesurer le passage et l'avancement du temps au travers de nos pensées et sentiments. Nous devrions alors aussi arrêter de penser et d'avoir des sentiments.

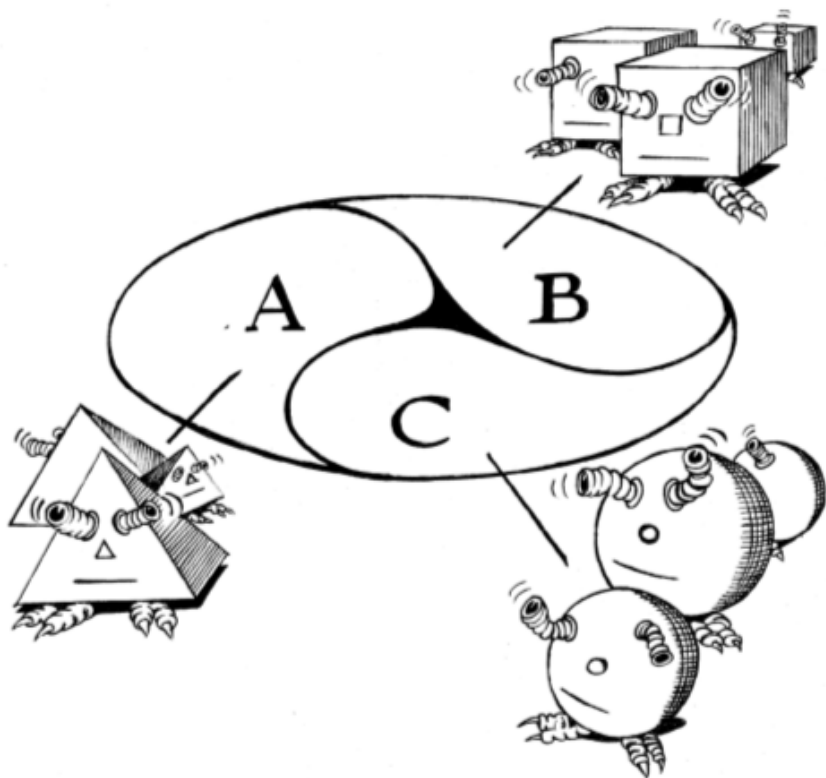


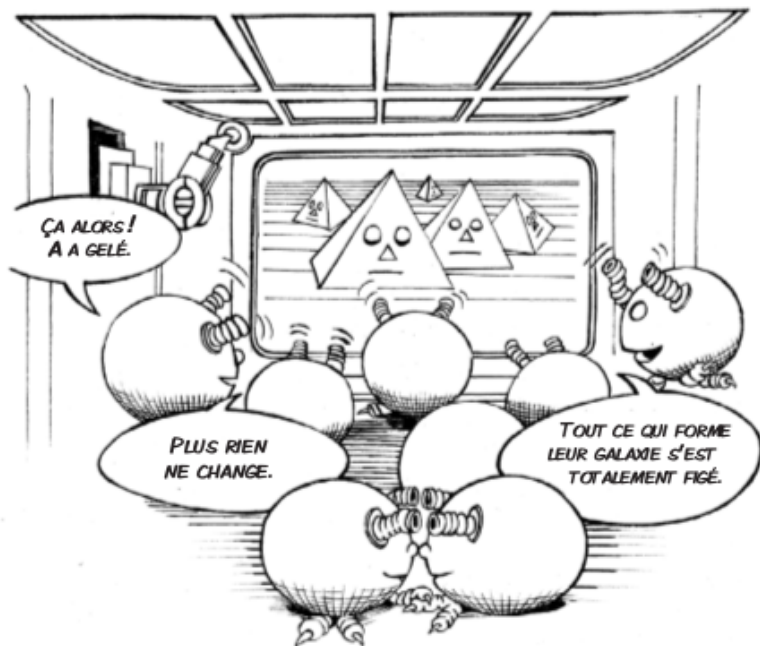
Dans cette hypothèse, étant donné que nos cerveaux seraient également gelés, nous ne nous apercevions pas du passage du temps. Se pourrait-il que le temps s'écoule malgré tout? La réponse est «oui», si le temps est réellement indépendant du changement. Selon Newton, il est concevable que le temps s'écoule sans qu'il y ait le moindre changement. Pour les Relationnistes, cela est impossible. Le temps, c'est la mesure du changement. Pas de changement, pas de temps!

Un scénario du temps sans changement

Il est au moins possible de concevoir que l'on puisse dire que le temps passe sans qu'il ait du changement. Le philosophe américain **Sydney Shoemaker** (né en 1931) a inventé un scénario selon lequel nous aurions des raisons empiriques d'affirmer que le temps s'écoule sans changement.

Considérons un monde composé de trois régions – trois galaxies pour fixer les idées – que l'on appellera **A**, **B** et **C**. Supposons que les habitants de ces trois galaxies puissent s'observer et communiquer d'une galaxie à l'autre.





Ces observateurs ont noté que les gels locaux se produisent à intervalles réguliers: la galaxie **A** gèle tous les 3 ans, la **B** tous les 4 ans et la **C** tous les 5 ans. De là – avec ces cadences de gel/dégel –, on déduit que les habitants de **C** verraient un gel commun de **A** et de **B** tous les 12 ans. C'est bien ce qui se passe et **C** peut en informer les habitants de **A** et **B**.

Une simple règle de trois montre alors qu'**A**, **B** et **C** vont toutes les trois geler simultanément tous les 60 ans. Mais comme **A**, **B** et **C** constituent le monde entier, cela implique qu'il est fondé de dire que, tous les 60 ans, le monde entier va geler et que cette année-là va se passer sans aucun changement.



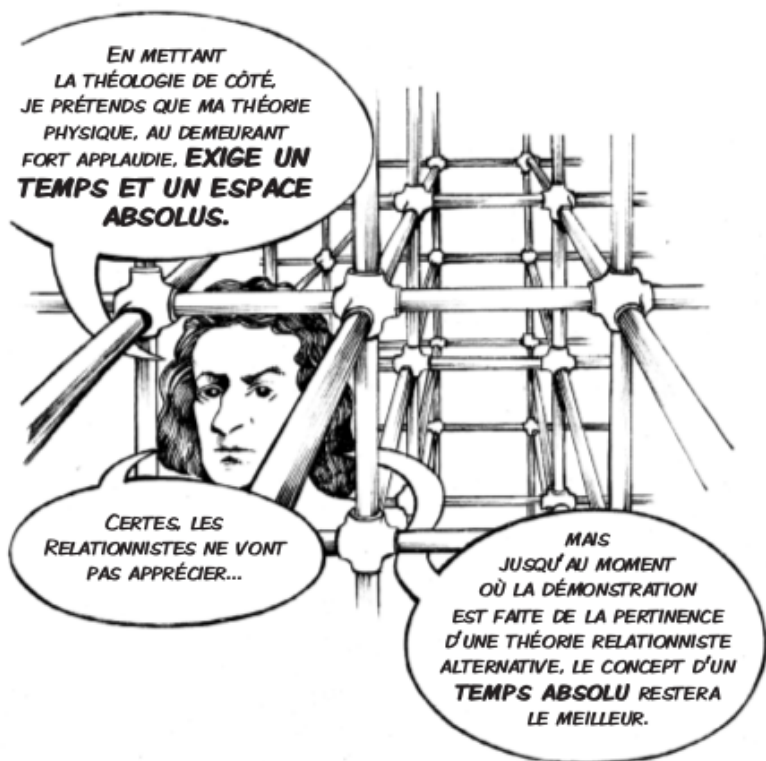
Bien que cet exemple ne démontre guère que le relationnisme est faux, il montre cependant qu'il est possible d'avoir raison en estimant que le temps peut s'écouler sans changement.

Le relationnisme peut-il remplacer le temps absolu?

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), mathématicien allemand et philosophe à ses heures, a inventé, indépendamment d'autres mathématiciens, dont Newton, une branche des mathématiques qui s'appelle en latin le *calculus* (notre calcul différentiel) et a engagé un combat féroce avec Newton pour déterminer qui devait en obtenir la paternité et la reconnaissance de ses pairs. Lors d'un célèbre débat, Leibniz s'en est pris au concept du temps défendu par Newton en argumentant que si ce dernier avait raison, il y aurait un sens à affirmer que l'Univers tout entier pouvait exister une seconde avant ou une seconde après le moment de sa création. Leibniz ne s'inquiétait nullement du fait que son hypothèse était invérifiable.



Sans raison suffisante, pensait Leibniz, Dieu n'aurait pas créé l'Univers du tout. Si nous faisons abstraction des aspects théologiques, cela revient à dire que la revendication d'un temps absolu nous mène à des possibilités inutiles.



Newton s'empressa de souligner, en effet, que sa vision de la physique illustrait la grande gloire de Dieu. Newton n'a pas pris à son compte le fait que Dieu pouvait être mis en échec par un choix entre deux situations identiques telles que, finalement, il ne ferait rien du tout – tout comme l'âne de Buridan qui s'est laissé mourir de faim faute de pouvoir se décider entre deux bottes de foin identiques.

Depuis ce débat Newton-Leibniz, de nombreux Relationnistes ont échafaudé d'autres arguments contre l'absolutisme de Newton.

Les Conventionalistes

La vision «réaliste» du temps que défendait Newton a attisé des opposants – notamment contre son idée qu'il existe un temps vrai «là-bas». L'une des écoles d'opposition s'appelle le conventionnalisme. Reichenbach, dont nous avons parlé plus haut, était un éminent conventionnaliste. **Henri Poincaré** (1854–1912), physicien français, philosophe mais, avant tout, mathématicien, a exprimé le point de vue des conventionnalistes sur le temps de manière très succincte. Après avoir considéré comment les astronomes mesuraient le temps, il a résumé leur approche, à la grande satisfaction de ses pairs...



*LE CONCEPT DU TEMPS
DEVRAIT ÊTRE DÉFINI DE SORTE
QUE LES ÉQUATIONS DE LA MÉCANIQUE
SOIENT AUSSI SIMPLES QUE
POSSIBLE.*

*IL N'Y A PAS
UNE FAÇON DE MESURER
PLUS JUSTE QUE D'AUTRES:
CELLE QUE L'ON ADOPTE LE PLUS
SOUVENT EST AUSSI LA PLUS
COMMUNE.*

Poincaré n'épousait donc pas l'idée d'un temps vrai «là-bas». Mais, pour autant, il ne se sentait pas porté à croire que n'importe quelle horloge en valait une autre. Celle qui servait à étayer la théorie physique la plus simple était pour lui la meilleure.

Si nous utilisons un pendule sur un navire comme arbitre du temps qui passe, il serait très difficile, voire impossible de bâtir une quelconque science sur Terre. Et même si nous arrivions à en «bricoler» une, cela deviendrait vite un fatras complexe. On en déduit aisément que certaines mesures du temps sont plus commodes que d'autres.



Si un autre physicien, appelons-le Snewton par exemple, invente une nouvelle physique plus simple et qu'il dispose pour cela d'une autre mesure du temps, alors ce serait cette référence-là que nous prendrions comme définition du temps. Il ne saurait être question de dire quel temps est le vrai. La simplicité, tout comme la beauté, est dans l'œil de celui qui la contemple. Le choix de la mesure du temps est une question de convention et non une affaire factuelle. Pour certains, rien que cette conclusion suffit à rejeter le conventionnalisme.

L'Univers désynchronisé ?

Dans les années 1930, les physiciens **Paul Dirac** (1902-1984) et **Arthur Milne** (1896-1950) ont été assaillis du même doute, indépendamment d'ailleurs, que je trouve intéressant de mentionner maintenant, car mon souci est qu'il faudra peut-être se référer à *plus d'une* échelle du temps.

L'horloge atomique est bien meilleure qu'un pendule pour mesurer le temps et quand il y a de petites différences, on les explique en disant que le pendule est faussé par des forces de friction ou de gravité variables.



Cela résume la piste qu'ont entrevue Dirac et Milne. Ils ont imaginé que notre meilleure horloge électromagnétique, disons la NIST-F1, puisse être synchronisée avec la meilleure horloge gravitationnelle, par exemple les pulsations venues de quelque galaxie lointaine. Supposons que, sans raison ou explication apparente, elles finissent par diverger. Dans l'état de nos connaissances actuelles, nous savons que cela est parfaitement plausible.



Si cela devait se révéler exact, cela condamnerait probablement tout espoir d'arriver à une physique enfin unifiée⁸, système où toutes les forces seraient unifiées à un niveau profond. Heureusement, la Nature est accommodante et «gentille»; en fait, il n'y a pas de divergence entre nos horloges gravitationnelle et électromagnétique qui ne puissent s'expliquer «naturellement».

La nature du temps... qu'il soit relatif ou non relatif

Nous situons les événements de la vie soit dans le passé, soit dans le présent, soit dans le futur: par exemple, «*la Guerre de l'Indépendance américaine a eu lieu dans le passé*», «*ma mort viendra dans le futur*», etc. Parfois, nous relativisons: tel événement a eu lieu plus tôt ou tard que d'autres, par exemple «*la Révolution américaine est intervenue avant la Révolution française*», ou «*ma mort interviendra après ma naissance*», etc.



Ce que nous disons du temps d'un événement est donc toujours relatif à celui d'autres événements.

La Révolution américaine n'est pas simplement antérieure. Cela n'a aucun sens. Nous devons comprendre que la Révolution américaine de 1776 se place plus tôt

par rapport à d'autres événements qui surviennent plus tard dont, par exemple, la

Révolution française qui a eu lieu en 1789. En revanche, elle est contemporaine d'autres événements, comme la fondation de la ville de San Francisco, en 1776. Elle est postérieure à des événements qui ont eu lieu avant: l'accession au trône de Louis XVI en 1774. Cette manière de parler d'événements du passé, du présent ou du futur dépend du temps de référence, celui qui sert à la comparaison, avant, après... Les temps sont toujours *relatifs* les uns aux autres.

Un temps sans les temps est un temps avec les temps⁹

Dans la première manière de situer les événements, *les temps ne sont pas relatifs les uns aux autres*. On dira d'un événement qu'il a eu lieu dans le passé (ou dans le futur) de la même manière que l'on pourra affirmer que les bijoux sans dans le coffre-fort ou qu'ils n'y sont pas. Et tout comme les bijoux ne peuvent être **dans le coffre** par rapport à un autre objet mais **pas dans le coffre** par rapport à d'autres, il en va de même des événements par rapport à un autre temps. Pas « dans le passé » (ou le présent ou le futur) par rapport à un autre temps, mais tout simplement dans le passé (ou le présent ou le futur), point final!

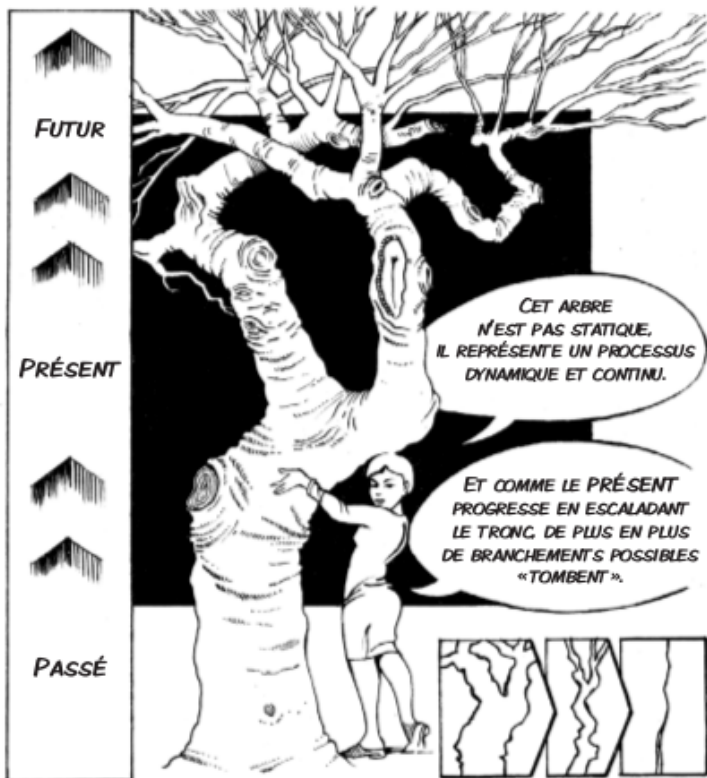


Il existe des théories du temps qui correspondent à ces deux façons de parler. D'une part, la théorie dite d'**un temps sans les temps** (appelée aussi théorie statique ou de l'**Univers-bloc**¹⁰) qui défend la thèse que le temps ressemble

beaucoup au concept de l'espace; d'autre part, la théorie d'**un temps avec les temps** qui nous enseigne que le temps s'écoule et « devient », c'est-à-dire est une entité dynamique (et changeante) différente de l'espace. Et bien que l'on trouve déjà les prémices de cette distinction chez Aristote, saint Augustin et d'autres, la problématique est tout à fait moderne et fait suite aux débats entre philosophes tels que John Ellis McTaggart¹¹, Bertrand Russel et C.D. Broad dans le premier quart du XX^e siècle.

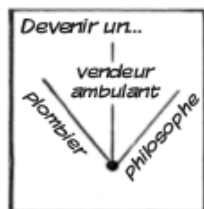
Le temps avec les temps

La théorie du temps avec les temps (en anglais *tensed time*) correspond le mieux à nos intuitions ou à l'idée que partage l'Homme de la rue avec tout le monde. Selon cette théorie, le futur est « irréal ». L'événement « ce que vous allez faire aussitôt cette phrase terminée » n'existe pas encore. Le futur est incertain et donc riche de possibilités. Et, comme le temps s'écoule, c'est le monde qui choisira quel chemin suivre, un parmi tous ceux possibles, disponibles. Le passé est figé et le présent n'est que le point instantané où le présent et le passé se rencontrent. Le monde qui nous entoure, selon cette vision, ressemble à un arbre avec ses branches...



Cette théorie rejoint l'idée convenue qui énonce que « ce qui est fait est fait » et que l'on ne peut changer le passé ; en revanche, on peut modifier le futur puisque tout est « ouvert » et donc possible.

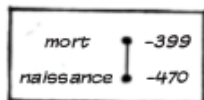
Prenons l'exemple de comment certains aspects du monde ont changé au cours de la vie de **Socrate**, qui est né en -470. À cette date, le tout jeune Socrate avait devant lui un avenir « pas encore réel » plein de possibilités...



Socrate a été enrôlé comme simple soldat d'infanterie et s'est montré particulièrement courageux pendant la Guerre du Péloponnèse (431-404) ; par la suite, il consacra sa vie à enseigner dans les espaces publics et forums d'Athènes. Ses choix, qui ont déterminé sa vie, constituent son passé, unique et figé. Après son procès en -399, Socrate est condamné à mort en buvant la ciguë ¹².



À l'instant même de sa mort, la vie entière de Socrate est figée et dans le passé.



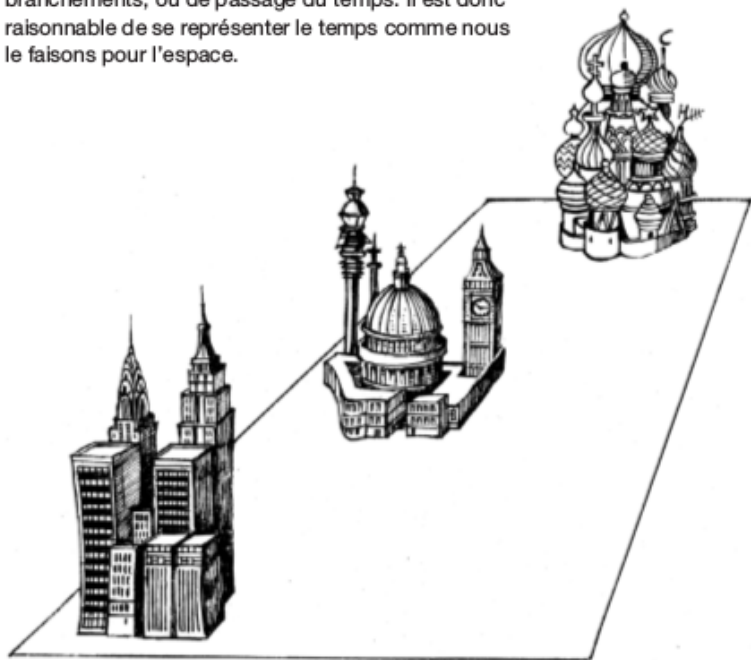
Il y a de nombreuses versions de la théorie du temps avec les temps. Dans la version que je viens d'esquisser ci-dessus (la variante traditionnelle), le passé est bien réel et le présent grimpe le long de l'image du tronc d'arbre, changeant un futur irréel en un passé réel. C'est le philosophe anglais **Charlie Dunbar Broad** (1887–1971), cité le plus souvent par ses seules initiales C.D. Broad, qui a le mieux présenté cette théorie du temps avec les temps, mais sous l'appellation **présentisme**, en association avec un autre philosophe, **Arthur Norman Prior** (1914–1969), né et éduqué en Nouvelle Zélande. Selon le présentisme, le passé et le futur sont irréels, et seul le présent est réel; et, dans une autre variante, le passé, le présent et le futur sont réels mais le présent, sans plus d'explication, est en mouvement. Pour la suite de ce livre, je préfère en rester à la théorie traditionnelle.



Bien que les théories scientifiques d'avant 1900 n'évoquaient pas cette conception du temps, elles étaient cependant compatibles avec elle. De plus, il y a quelques raisons de croire que c'est bien cette vision qui correspond à ce que les gens pensent.

Le temps sans les temps

La théorie du temps avec *les temps* (en anglais *tenseless time*) est moins évidente, intuitivement, cependant elle a probablement les faveurs de la majorité (mais assurément pas tous) des philosophes et des scientifiques. L'idée principale ici est qu'il n'y a pas plus de « devenir » que de branchements, ou de passage du temps. Il est donc raisonnable de se représenter le temps comme nous le faisons pour l'espace.



Tout comme les villes de New York, Londres ou Moscou existent mais pas au même endroit, le passé, le présent et le futur existent aussi mais pas en même temps.

De ce point de vue, pour vous qui me lisez, les événements de votre naissance et de votre mort ont une réalité égale et de même rang.

Pour mieux comprendre cette théorie, nous devons commencer par définir ce qu'est une dimension. Le temps constitue une sorte de **4^e dimension**. Et nous allons nous en rendre compte, il n'y a rien de diabolique à parler d'une **4^e dimension** – en un mot, cela revient à représenter les événements par quatre chiffres seulement.

La représentation des dimensions

Le **point mathématique parfait** n'a aucune dimension, ni hauteur, ni largeur, ni longueur.



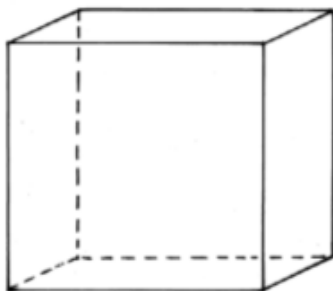
À présent, étirez ce point vers la droite et imaginez qu'il laisse une trace d'encre sur le papier.



Vous venez de dessiner une ligne à une dimension. Elle a une longueur sur, c'est-à-dire à la surface de, la feuille mais ne possède ni profondeur (elle n'entre pas dans l'épaisseur du livre) ni (idéalement) de hauteur vers le haut ou vers le bas de cette feuille. Cependant, si nous prenons la ligne et la déplaçons vers le haut, disons de 5 cm, la trace devient **un plan**, qui aura donc deux dimensions.



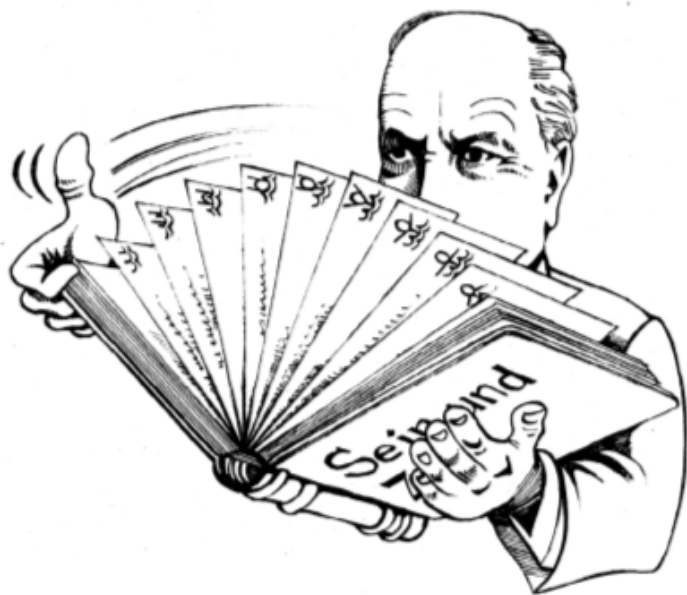
Vous pouvez considérer un plan comme une feuille la plus mince possible, sans aucune épaisseur. Maintenant, si nous faisons avancer ce plan de 5 cm au-dessus de cette page, nous obtenons **un cube, avec ses trois dimensions**. Notre monde est entièrement rempli d'objets qui ont une existence avec trois dimensions dans l'espace.



Le temps comme 4^e dimension

Cela étant clair, allons plus loin. Même si nous ne pouvons pas visualiser la chose, le procédé que nous venons d'exécuter peut se répéter à loisir. Il suffit dans chaque cas d'étendre un objet ayant n dimensions dans un sens «perpendiculaire» à toutes les autres directions (celles déjà utilisées) pour obtenir un objet à $n + 1$ dimensions. On répète le processus une fois de plus. Et nous appellerons cette nouvelle dimension **le temps**.

Malheureusement, nous ne pouvons dessiner le résultat, même si nous le comprenons parfaitement, comme nous allons le voir maintenant...



Vous connaissez sans doute le petit jeu qui consiste à dessiner des hommes-bâtons sur chaque coin inférieur d'un bloc-notes, puis à faire tourner les pages rapidement. On a l'impression que les petits bonshommes sont vivants et en mouvement. Oublions le jeu des feuilles et gardons l'idée en tête. Le monde est comme un bloc-notes : un ensemble d'entités spatiales placées soit sur une feuille (distribution spatiale), soit sur des feuillets différents.

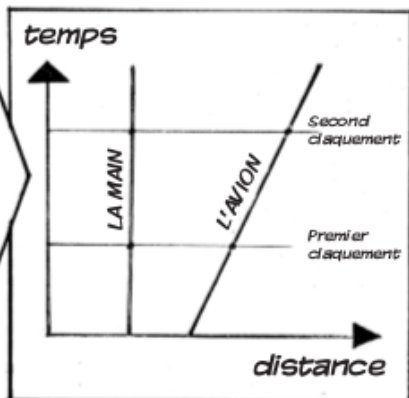
Diagrammes de l'espace et du temps



Nous pouvons visualiser la situation si nous nous mettons d'accord pour représenter un objet à trois dimensions par un dessin à deux dimensions, voire même à une dimension. La « hauteur » dans le diagramme à droite représente le temps et pas la hauteur physique. Votre main et l'avion (en faisant abstraction pour le moment du reste du monde) tracent chacun une « ligne globale » et, sur ces lignes, vos claquements de doigts marquent des temps spécifiques.

Claquez des doigts. Ce geste marquera un instant (désigné par t_0) dans le temps. Au moment où vous le faites, tous les objets dans le monde ont un positionnement spatial précis: vos mains sont là où elles sont, les passagers de l'avion au-dessus se trouvent à une certaine distance de vos mains et ainsi de suite. Claquez vos doigts une seconde fois. Vos mains auront bougé un peu (déplacement, la Terre qui tourne), tout comme l'avion dans le ciel.

Ces claquements de doigts marquent différents points dans l'espace et dans le temps.

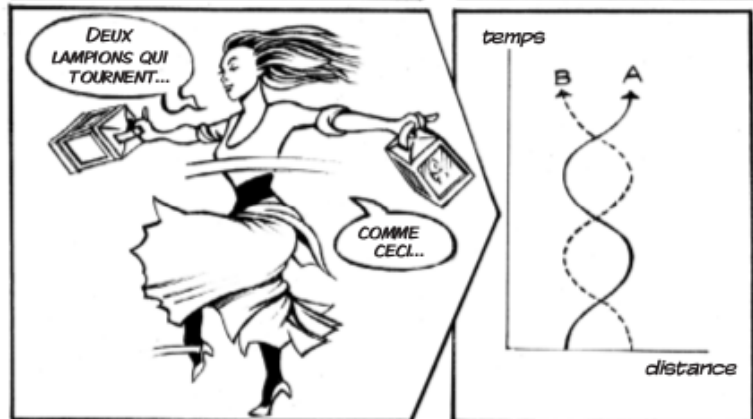
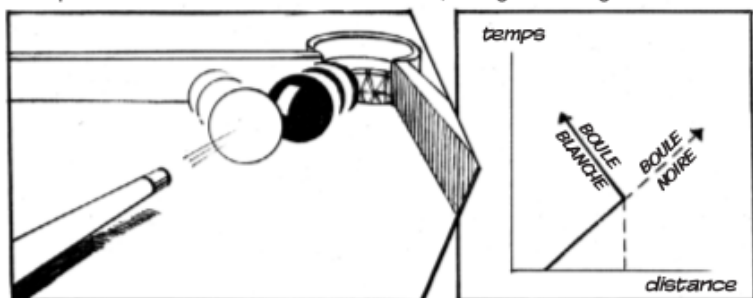


Le mouvement de l'avion qui s'éloigne de votre main est représenté par la distance qui les sépare (mesurée par la ligne horizontale, l'abscisse) au fur et à mesure que vous montez dans le diagramme (c'est-à-dire que le temps passe, mesuré par l'ordonnée).

Prenons l'exemple le plus simple qui soit, un rocher immobile (on fait abstraction de la rotation de la Terre...) et qui ressemblerait à ceci...



Lorsque deux boules de billard se rencontrent, l'image et le diagramme sont...



Une vie sans temps

Dans une vision sans temps, donc dans l'Univers-bloc, le passé, le présent et le futur coexistent. Votre vie pourrait être représentée ainsi...



Quand nous donnons les bases de cette théorie, nous devons le faire avec prudence, par exemple ne pas affirmer que le passé et le futur existent *maintenant*. Ce « *maintenant* » n'a aucune position privilégiée selon la théorie. « *Maintenant* » s'applique seulement au moment où vous le dites. Si, par exemple, vous déclarez « *ce livre décrit maintenant une bien étrange théorie du temps* », cela renvoie à des événements contemporains de la phrase prononcée. Si vous l'aviez dit plus tôt, la référence aurait été faite à des événements antérieurs.

Les concepts d'ici et de maintenant

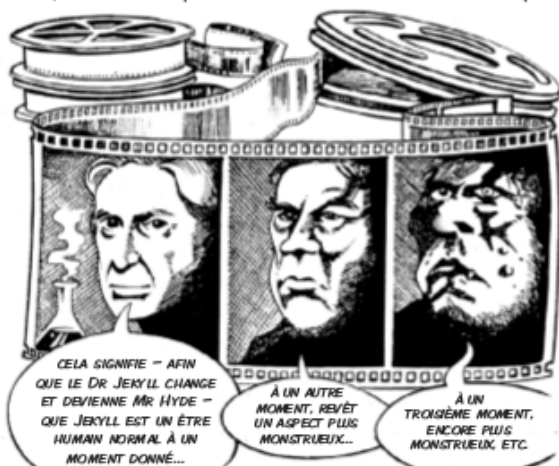
« Maintenant » est un concept qui fonctionne exactement comme celui, spatial, qui sous-entend un « ici ». Quand vous dites « je suis ici », vous indiquez l'endroit où vous le dites – à New York s'il s'agit de New York, Londres si c'est Londres et, pourquoi pas, la Lune si vous y êtes. Dans cette optique, il y a un contraste net par rapport à la théorie du temps avec *les temps*, car « être » dans le passé, le présent ou le futur est **toujours relatif** au point où vous vous trouvez sur le diagramme espace-temps. Certains vont, de prime abord, trouver cette théorie stupide.



Nous admettons fort bien que Boston, Londres et Moscou sont égaux dans leur réalité, quand bien même nous ne pouvons voir Londres ou Moscou si nous sommes à Boston, avec, bien sûr, le même raisonnement pour Londres ou Moscou. L'explication revient à constater que ces villes se trouvent à des endroits différents. Il en va de même pour le temps : votre naissance et votre mort ont une existence réelle, mais à des moments différents.

Le dilemme du mouvement et du changement

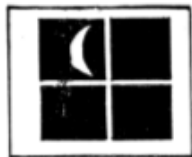
Certaines personnes protestent parce qu'il n'y a ni mouvement ni changement dans cette théorie du temps sans les temps. Elles ont raison, mais aussi tort. Ce dernier cas existe quand le changement signifie **seulement** le fait de posséder des propriétés différentes à des moments différents (de même s'agissant du mouvement, le fait d'occuper des endroits différents à des temps différents).



C'est ainsi que le prix Nobel et philosophe **Bertrand Russel** (1872-1970) conçoit le changement. Pris dans ce sens, il y a indéniablement un changement et un mouvement selon cette théorie. Votre tasse de thé, au départ, possède la caractéristique d'être chaude; un laps de temps plus tard, elle refroidira et deviendra tiède, et ainsi de suite jusqu'à devenir froide. La Lune possède la caractéristique d'occuper un endroit dans le ciel à un moment donné, puis de se trouver à un autre endroit à un autre moment, et ainsi de suite.



Le premier cas décrit un changement de chaud à froid et le second un changement qui s'appelle le mouvement. Il n'y a dans cette vision qu'à transformer un objet à trois dimensions qui posséderait des propriétés différentes à différents instants, et cette transformation peut avoir lieu dans cette théorie du temps *sans les temps*. Le mouvement et le changement sont déjà codés selon les quatre dimensions.



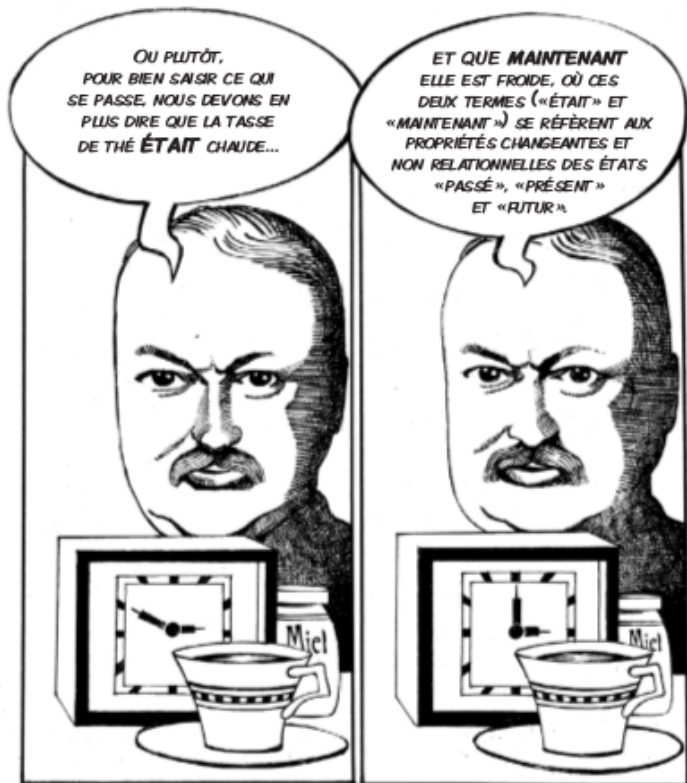
Bien évidemment, dans la théorie du temps *sans les temps*, les relations temporelles parmi les objets à quatre dimensions sont parfaitement établies, une fois pour toutes. De ce point de vue, à quatre dimensions, il n'y a pas de changement. Les extraterrestres (Ed. répondant au doux nom de *Trafaladoriens*) dans le roman *Slaughterhouse-Five*¹³, écrit par Kurt Vonnegut (en 1969), pouvaient distinguer les objets à quatre dimensions, et pas seulement les objets à trois dimensions. Ainsi, ils voyaient étalée devant eux toute l'histoire de la Terre, le passé, le présent et le futur, figée et immuable. Et, puisqu'il n'y a pas de 5^e dimension qui autoriserait un changement des objets à quatre dimensions, le changement russellien ne peut intervenir à ce niveau. Cela leur est interdit, avancent les «*détenseurs*»¹⁴ (ceux qui s'opposent aux temps verbaux, en anglais le néologisme *detensers*).



La propriété que posséderait un objet porté à 100 °C à l'instant t n'existe non seulement plus à l'instant $t + 1$, mais est «*tombée*» de plus dans le passé. Ce «*quelque chose de plus (ou complémentarité)*» est nécessaire, affirment les «*détenseurs*», si l'on veut distinguer un vrai changement de temps d'une simple variation (par exemple de la couleur d'un drapeau). Dans cette acceptation plus rigoureuse du changement, il n'y a pas de changement dans la théorie du temps *sans les temps*.

Le raisonnement de McTaggart

Dans *The Unreality of Time* (1908), le philosophe britannique **John M. E. McTaggart** (1866–1925) présente un raisonnement devenu célèbre pour les philosophes. La conclusion à laquelle McTaggart arrive est que *le temps n'existe pas* ou, plus précisément, c'est une illusion et qu'il n'y a rien qui mérite le nom de « temps ». Dans ce raisonnement, il y a du positif à la fois pour les tenants des thèses des « tenseurs » comme pour celles des « détenseurs ». Pour les premiers, il y a l'argument qu'un véritable changement a besoin de la théorie du temps *avec les temps* pour être vrai. Pour McTaggart, il ne suffit pas de dire que la tasse de thé est chaude à l'instant t , on doit aussi ajouter qu'elle n'est plus aussi chaude à l'instant t^* dès lors que t^* est plus tard que t .



Et McTaggart de conclure que la théorie du temps avec les temps correspond le mieux à notre vécu.

Ce qui est drôle, avance McTaggart, c'est que tout en admettant que la théorie du temps avec les temps soit la meilleure, ces temps sont en fait incohérents. Ce qui ne nous surprend pas est que c'est cette partie de son argument qui a les faveurs des « défenseurs ». L'argument est d'une simplicité frappante car il se base sur deux affirmations des défenseurs de cette théorie.

1

LE PASSÉ, LE PRÉSENT ET LE FUTUR
REPRÉSENTENT DES PROPRIÉTÉS
INCOMPATIBLES ENTRE ELLES.
SI, PAR EXEMPLE,
UN ÉVÉNEMENT EST
DANS LE PASSÉ,
IL NE PEUT EN
MÊME TEMPS
ÊTRE DANS
LE PRÉSENT.

2

MAIS CHAQUE
ÉVÉNEMENT
POSSÈDE CES
TROIS PROPRIÉTÉS.
LA MORT DE SOCRATE
ÉTAIT, À UN MOMENT
DONNÉ, DANS
LE FUTUR, EST
SURVENUE
DANS LE PRÉSENT
AVANT DE
S'INSCRIRE
DANS LE PASSÉ.

LES AFFIRMATIONS
1 ET 2 SONT
TOUTES LES DEUX VRAIES
SELON LA THÉORIE DU TEMPS
AVEC LES TEMPS, MAIS ELLES SONT
LOGIQUEMENT INCOMPATIBLES
ENTRE ELLES.

Il s'ensuit que la théorie du temps avec les temps ne peut être que fausse. Mais, puisque McTaggart estime qu'elle reste la meilleure des explications du temps et du changement, son raisonnement le conduit à conclure – et en cela c'est proprement stupéfiant – que le temps lui-même est un concept irréal.

Pour éviter le piège de McTaggart

En règle générale, on peut choisir entre deux stratégies pour éviter la conclusion de McTaggart (que le temps est une illusion). Les « détenseurs »³⁶, tout simplement, réfutent l'accusation que la théorie du temps sans les temps soit suffisante pour rendre compte de notre vécu du changement.



La mort de Socrate, pour ceux qui vivent en l'an 2000, c'est du passé ; en l'an - 399, et pour peu que ses concitoyens soient tenus au courant, elle est dans le présent ; et enfin, si on remonte à l'an - 500, la mort est dans le futur et donc ne peut être simultanément dans le passé, le présent et le futur, selon la seconde affirmation.

Mais en soi, cette réponse ne vaut rien (et c'est pour cela que le raisonnement de McTaggart tient toujours). Dire que La mort de Socrate en l'an - 399, c'est du passé revient à énoncer **un fait sans temps**.



Si les «tenseurs» éliminent l'incohérence qu'ils voient entre les affirmations n° 1 et n° 2 en épousant la théorie du temps *sans les temps*, ils auront abandonné leur théorie et leur position. La problématique ouverte alors – pour les «tenseurs»¹⁷ – est de déterminer s'ils peuvent tirer un sens des temps dans un sens qui ne soit pas *sans les temps*.

À quelle vitesse le temps s'écoule-t-il ?

Dans un essai bien connu, intitulé *Le mythe du passage*¹⁸ (Le mythe de l'écoulement, 1951), le philosophe américain **Donald Cary Williams**¹⁹ a lancé une attaque d'envergure sur les tenants de la théorie du temps avec *les temps*. Williams a soulevé la question: est-il absolument nécessaire de supposer l'existence du temps ? Estimant que le besoin supposé est basé sur une compréhension confuse de l'Univers-bloc (telle qu'il ne peut y représenter le mouvement), Williams à son tour affirme, avec le panache qui le caractérise, que la théorie du temps *sans les temps* est « l'explication logique d'événements par excellence, les dents par lesquelles les mâchoires de notre intelligence saisissent la chair de l'occurrence ».

Cet article renferme une objection devenue célèbre contre les « tenseurs », émise à l'origine par C.D. Broad mais à laquelle Williams donne une portée générale. Cette objection découle de la question : « À quelle vitesse s'écoule le temps ? »



On en déduit que si le « maintenant » se déplace, cela doit être par rapport au temps. Mais le « maintenant », c'est du temps. Se pose alors la question: est-ce qu'il se déplace par rapport à lui-même ? Non, répond Williams, car cela n'aurait pas de sens. Si le « maintenant » bouge, cela doit être par rapport à un second temps de référence, ce dernier étant le temps par rapport auquel le premier temps se déplace.

Les « tenseurs » répondront parfois à cette question « à quelle vitesse s'écoule le temps ? » par « une seconde par seconde ». Mais vous aurez remarqué que cela ne répond en rien à la question posée, car en logique, en biffant le mot « seconde », il ne reste que le terme « une ». Mais une quoi ? Réponse « rien » – juste « une ». Cela n'est guère satisfaisant comme réponse.

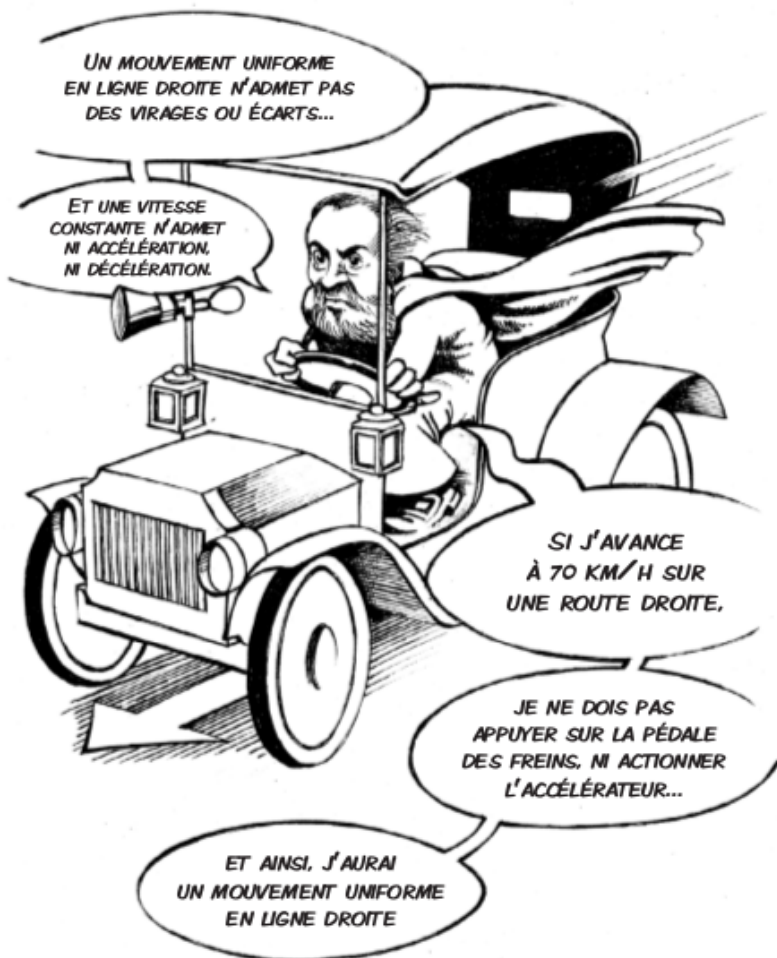
Mais la meilleure réponse, peut-être, c'est que les « tenseurs » réfutent totalement que le « maintenant » se déplace par rapport au temps. C.D. Broad, par exemple, épousait cette thèse.



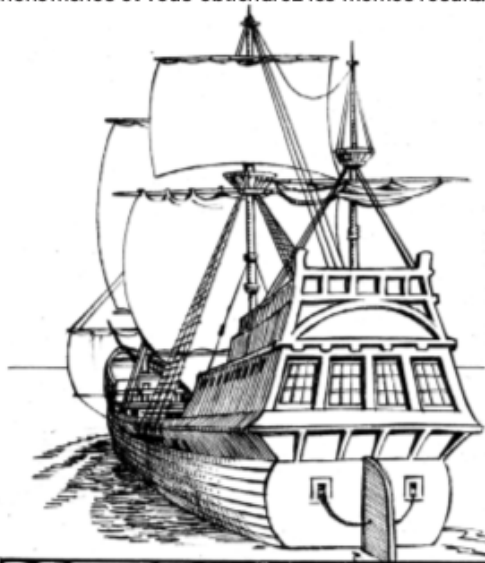
Mentionnons, pour finir ici, que cette interprétation du temps *sans les temps* est parfaitement compatible avec le temps tel qu'il est conçu par Leibniz, Newton, Poincaré et (comme nous le verrons plus loin) Einstein. Savoir si la théorie du temps *sans les temps* peut en faire autant vis-à-vis des théories d'Einstein, voilà une question que nous aborderons plus tard.

La relativité galiléenne

Le scientifique italien **Galileo Galilei** (1564–1642) est celui qui a le mieux formulé un point intéressant et que nous connaissons bien, à savoir que les lois de la physique s'appliquent quelle que soit la vitesse à laquelle un objet se déplace, à deux conditions : que le mouvement soit uniforme et qu'il soit en ligne droite.



Pour reprendre l'exemple du navire qui avance par mer calme, à une vitesse constante et en ligne droite, Galilée fait remarquer que la nature environnante est strictement indifférente au fait que vous entreprenez des expériences scientifiques à bord du bateau, que ce soit à 10 km/h, à 15 km/h, voire même à l'arrêt - 0 km/h). Vous observerez les mêmes phénomènes et vous obtiendrez les mêmes résultats scientifiques.



Qui plus est - si le mouvement du navire était parfaitement uniforme et que vous vous trouviez dans une cabine sans hublot -, vous ne pourriez même pas dire si le bateau bouge ou pas. C'est en soi un fait remarquable que de constater que la Nature est indifférente à ce que vous conduisiez des expériences en mouvement ou à l'arrêt - et c'est ce que nous appelons la **relativité galiléenne**.



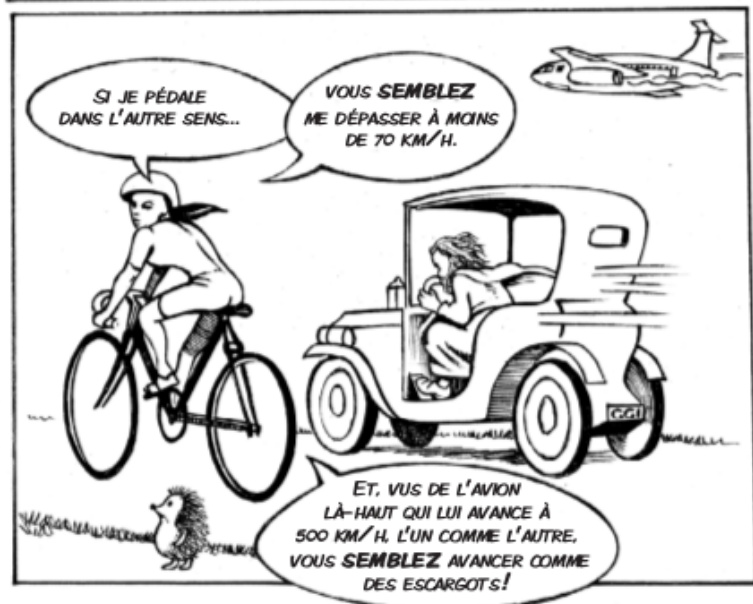
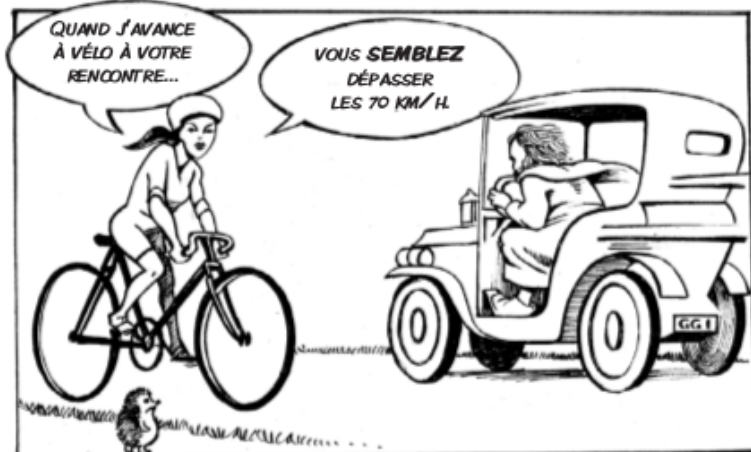
Les cadres de référence

Une façon différente d'énoncer ce principe galiléen est de dire que la Nature ne fait pas de distinction parmi les différents cadres inertiels de référence (donc sans accélération). Qu'est-ce qu'un **cadre de référence**? C'est simplement un ensemble d'objets qui ne bougent pas les uns par rapport aux autres. Notre navire définit un cadre de référence, c'est-à-dire que les planches, les tables, les mâts, etc., ne bougent pas les uns par rapport aux autres.



Il y a en fait une infinité de cadres de référence et, bien sûr, ils peuvent bouger librement les uns par rapport aux autres.

La vitesse de déplacement des objets dépend du cadre de référence où vous vous trouvez. Si vous êtes au volant d'une voiture qui roule à 70 km/h, le bord de route «se déplace» en sens inverse à 70 km/h et pour quelqu'un posté au bord de la route, c'est vous qui vous déplacez à 70 km/h.



La relativité selon Einstein

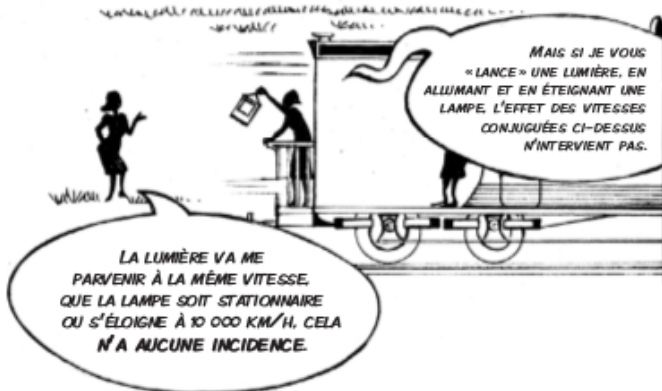
En 1905, notre compréhension du monde a changé. Un jeune homme nommé Albert Einstein (1878–1955) a connu son *annus mirabilis*²⁰ (année des miracles) au cours de laquelle, travaillant comme clerc dans un bureau d'enregistrement de brevets, il a publié trois articles, chacun menant à une révolution de la physique de son temps. L'un des articles introduit sa célèbre **théorie de la relativité spéciale**. Dans les prochaines pages, nous allons expliquer les conséquences de la relativité spéciale sur les concepts du temps. Un peu plus loin, quand nous aborderons la question des voyages dans le temps, nous analyserons son chef d'œuvre, la **théorie de la relativité générale**.

En 1905 donc, Einstein a postulé – hypothèse vérifiée par des expérimentations – qu'un rayon de lumière paraît identique, quel que soit le cadre de référence, pourvu que le cadre ne subisse pas d'accélération.





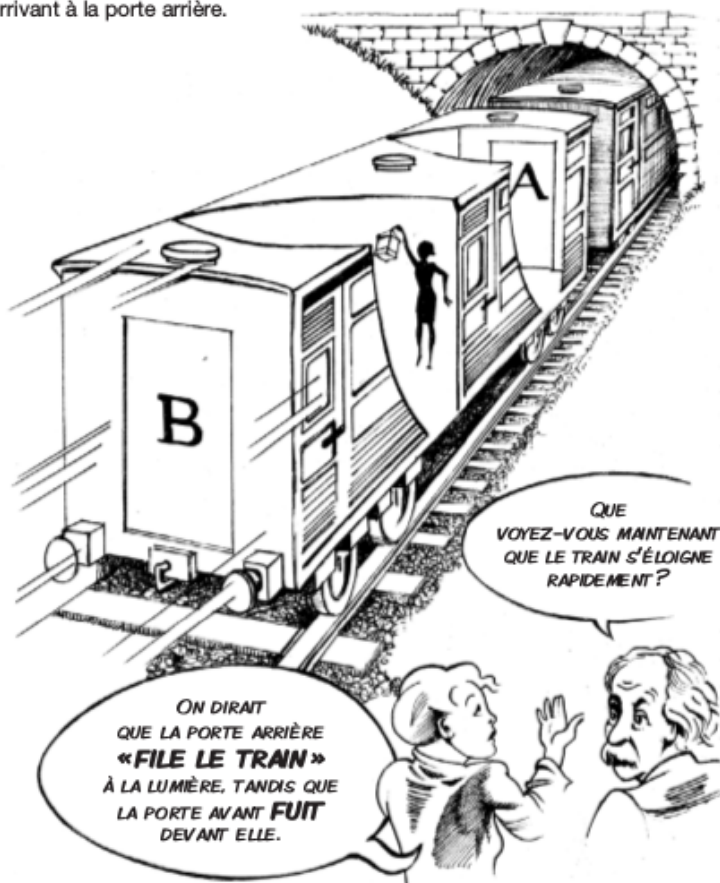
Cela peut nous paraître étrange car, par exemple, si nous sommes, vous et moi, dans un train et que je vous lance une balle, celle-ci peut avoir une vitesse, supposons, de 30 km/h par rapport à notre cadre de référence. Mais si vous êtes la personne au passage à niveau, attendant le passage du même train – qui avance à 150 km/h – et si je vous lance la balle, depuis la plateforme arrière du train, de la même manière que précédemment, la balle va voir se combiner la vitesse du train (positive) et celle de la balle (négative), soit au final 120 km/h (toujours positive) dans le sens de la marche – elle sera ainsi impossible à la personne immobile de l'attraper!



La simultanéité relative à l'observateur

Partant simplement, d'une part, de l'observation qu'a faite Galilée que les lois de la physique restent valables dans des cadres de référence sans accélération et, d'autre part, en acceptant le postulat osé que la lumière se propage toujours à la même vitesse, il s'ensuit d'étranges implications pour le concept du temps.

Reprenons l'exemple du train. Si je me déplace vers le milieu d'une voiture avec une lampe à la main et que j'allume celle-ci, du point de vue d'une autre personne dans cette voiture, la lumière devrait arriver aux deux portes (placées aux extrémités) en même temps. Cela se traduit par : événement **A** = lumière arrivant à la porte avant, simultanément à l'événement **B** = lumière arrivant à la porte arrière.



Pour le passant, l'événement **B** précède l'événement **A**. Ce qui paraît simultané aux passagers de la voiture ne l'est plus pour le passant.

Les Newtoniens, cela va de soi, ne suggèreraient rien de tel. Ils diraient que la lumière se propage à des vitesses différentes.



La théorie selon laquelle la simultanéité dépendrait de l'observateur est une conséquence sérieuse des postulats d'Einstein, à savoir la relativité galiléenne et la constante de la vitesse de la lumière. Et cela aussi a de sérieuses implications concernant la nature de l'espace et celle du temps.

Plus tôt, pour expliquer la théorie de Newton et de l'Univers-bloc, nous avons accepté, certes de manière tacite, que la simultanéité soit indépendante des observateurs. Nous avons un temps global et unique. Si je claques des doigts et si vous en faites autant, ces deux événements sont soit simultanés soit ne le sont pas, et ce indépendamment des mouvements des uns ou des autres.

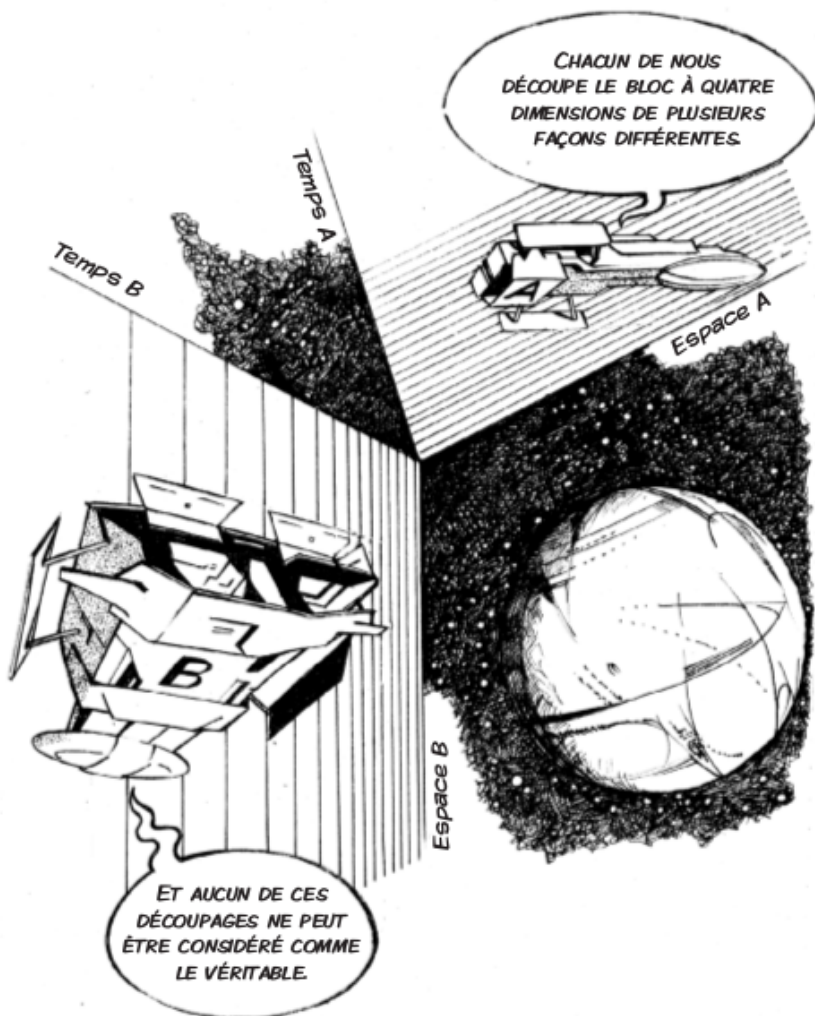


Cela n'est pas le concept du temps habituel. Comme l'a écrit l'un des mentors d'Einstein, un certain **Hermann Minkowski**²¹ (1864–1909): le temps n'existe plus...

[Ed. traduit de l'allemand] « Les concepts de l'espace et du temps que je voudrais développer devant vous ont jailli, pour ainsi dire, du terreau de la physique expérimentale et c'est là que réside leur force. Ils sont de nature radicale. Désormais, l'espace pris isolément, le temps pris isolément, sont appelés à se dissiper peu à peu pour devenir de simple ombres d'eux-mêmes, et seule une sorte d'union des deux concepts pourra préserver une réalité indépendante. »

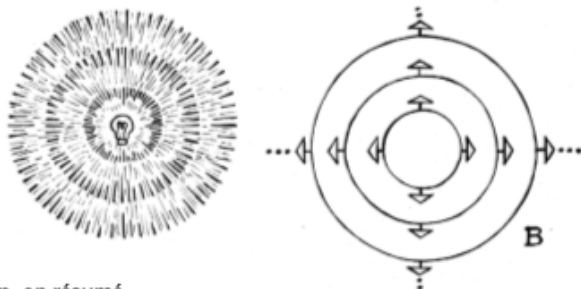
L'événement espace-temps

Il existe une entité, unique, que l'on appelle l'**espace-temps**, qui n'est ni du temps ni de l'espace. Et les découpages que l'on en fait, du temps et de l'espace, dépendent de l'observateur. Pour illustrer notre propos, prenons le cas de deux « navettes » qui s'approchent l'une de l'autre dans l'espace.

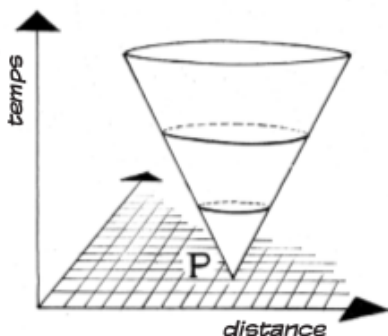


Les cônes de lumière

Étant donné que la lumière n'a pas de masse et se déplace plus vite que n'importe quoi – si vite d'ailleurs qu'elle a pratiquement la même vitesse quel que soit le cadre de référence –, elle occupe une place à part et nous informe sur la structure de l'espace-temps dans la relativité. La lumière ici va nous aider à imaginer ce qu'est l'espace-temps. Pour mieux comprendre ce que sont les relativités spéciale et générale, nous devons d'abord comprendre le concept des **cônes de lumière**.



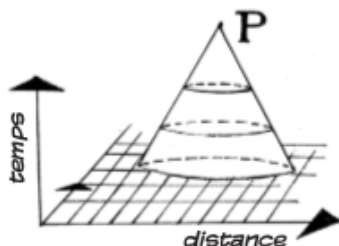
Un cône de lumière, en résumé, constitue l'histoire d'un flash de lumière, illustré dans le dessin. Nous allumons une ampoule électrique et nous désignerons cet événement – et sa localisation dans l'espace – par la lettre **P**. La lumière conséquente à l'allumage se propage dans toutes les directions. Si nous en faisons un dessin, donc à deux dimensions, et que nous observons **P** depuis un point placé au-dessus de l'ampoule, nous verrons schématiquement **B**.



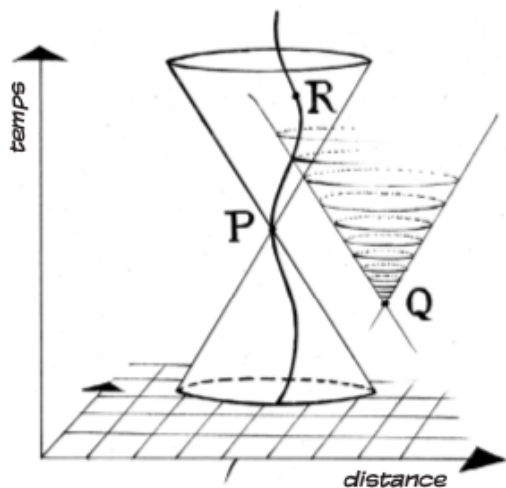
Si maintenant nous y ajoutons la dimension temps, nous obtenons un cône avec une dimension spatiale non représentée ici car en réalité les cercles qui apparaissent sont des sphères.

P indique donc le moment de l'allumage de l'ampoule. Les cercles que nous voyons dans le schéma vont s'agrandir au fur et à mesure que la lumière se propage de plus en plus loin avec le temps. Les parcours des rayons lumineux forment le cône – d'où l'expression cônes de lumière. Celui-ci en particulier porte le nom de cône de *lumière du futur*.

Le point dans ce diagramme – l'événement qui consiste à allumer une ampoule – possède aussi un cône de lumière du passé, que nous pouvons dessiner.



Le cône de lumière du passé représente tous les rayons de lumière dans l'Univers qui pourraient atteindre le point **P** dans notre diagramme espace-temps. La lumière, nous l'avons dit, va vite mais cette vitesse, constante, est finie. La lumière émise par toutes les ampoules qui existent ne pourra pas arriver à tous les **P** possibles. Les rayons de lumière dans ces diagrammes s'éloignent toujours des points **P** dans l'espace-temps à 45° ²³.

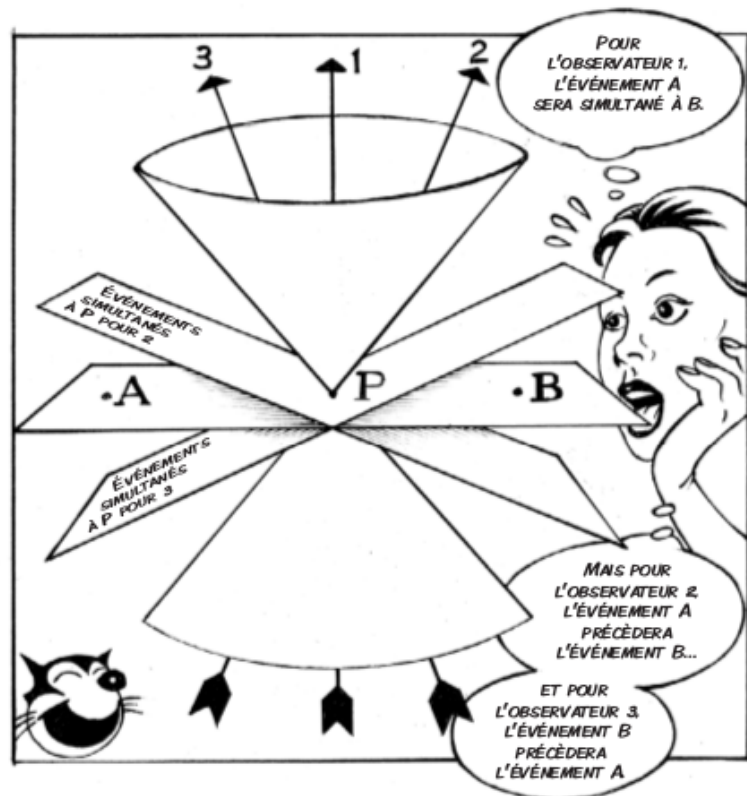


Ainsi, l'observateur positionné à **P** ne pourra pas voir l'ampoule qui était allumée à **Q**, sauf s'il attend un peu... jusque **R** et, à ce moment-là, il pourra « voir » **Q**. Cela nous est, en fait, assez familier. Quand nous regardons le ciel la nuit, notre œil perçoit des rayons de lumière émis par des étoiles il y a des millions d'années. La nuit précédente, vous ne pouviez pas voir ces mêmes rayons car ils se trouvaient en dehors de votre cône de lumière du passé, mais aujourd'hui ils y sont.

Le temps et sa dépendance à l'observateur

Un point important concernant les cônes de lumière est qu'ils représentent les limites des ensembles d'événements pouvant influencer sur d'autres événements. Rien ne peut se déplacer plus vite que la lumière, donc tout ce qui peut vous «toucher» doit se situer sur la surface du cône (s'il s'agit de la lumière) ou à l'intérieur du cône (s'il se déplace à une vitesse inférieure). Il en va de même pour tous les endroits où vous espérez aller un jour ou que vous souhaitez influencer d'une manière ou d'une autre.

Notre dessin ne comporte qu'un seul temps, mais c'est pour simplifier notre raisonnement. La marche du temps est dépendante de l'observateur, toutefois à un certain point seulement. À l'intérieur du cône de lumière d'un observateur, l'ordre des événements est défini. Cependant, un autre observateur – qui se déplace par rapport au premier observateur – ne saurait être d'accord avec le premier quant à la simultanéité de certains événements par rapport à l'événement P.



Si nos trois observateurs se retrouvent dans le futur, ils pourront se disputer quant à l'ordre des événements. «*C'est certain...*», va penser chacun dans son coin, «*... que les autres observateurs se sont trompés: il y a forcément un fait, à savoir que A ne peut être qu'avant, simultané ou postérieur à B.*» Le plus surprenant – si Einstein a vu juste – est que la bonne réponse ici est que chacun a raison.

Dans un univers relativiste, il n'y a pas de temps unique. Ou plutôt, il y a pléthore de temps, un pour chaque cadre de référence inertiel et ils ont tous une légitimité propre et égale aux autres. Il y a en plus votre propre temps, celui qui vous est personnel, qui sert à mesurer l'écoulement du temps sur votre propre parcours à travers l'espace-temps. Selon vos voyages, votre temps peut s'avérer très différent de celui d'autres voyageurs.

Plus tôt, nous évoquions un père et son fils qui se disputaient sur l'ordre de certains événements. La relativité nous enseigne qu'il n'y a pas d'ordre absolu qui soit vrai pour tous à tout moment et partout (bien que l'ordre relatif des mêmes événements pour chacun, à chaque point dans l'espace-temps, reste objectif).



Plus lentement, ou plus rapidement, avec certains qui voyagent dans des avions, tandis que d'autres sont bloqués derrière leur bureau, nous nous déplaçons en fait assez lentement les uns par rapport aux autres d'un point de vue relativiste. Pour en arriver à un désaccord profond quant à l'ordre des événements, nous aurions à nous déplacer à des vitesses bien supérieures ou bien plus lentes que celle des autres observateurs.

De la relativité et des temps

Avant d'aborder la question des voyages dans le temps, regardons un instant un argument avancé par plusieurs philosophes qui affirment que la relativité spéciale rend impossible la théorie du temps avec les temps, celle qui nous paraît la plus logique. Cette idée, que l'on associe souvent au philosophe américain **Hilary Putnam**²⁴ (né en 1926) est des plus simples. Le présent, selon la théorie du temps avec les temps, transforme un futur irréel en quelque chose de réel, quelque chose d'ouvert en quelque chose de fermé et figé. Dans la vision newtonienne, tout le monde était d'accord sur les événements perçus comme se reproduisant dans le présent.



Alors, qui dit vrai ? Les événements sont réels ou ne le sont pas. Il est ridicule de prétendre que l'existence d'un événement dépendrait de sa vitesse de déplacement. Cependant, en réalisant l'union de la théorie du temps avec les temps avec le concept du temps de la relativité spéciale, cela résume, apparemment, ce que nous essayons de dire.

Par conséquent, il semblerait que si les objections philosophiques à la théorie du temps avec *les temps* ne l'ont pas déjà « tuée », alors la relativité spéciale l'achèverait. Et pourtant, il subsiste des défenseurs de la théorie du temps avec les temps qui croient pouvoir expliquer et ainsi faire taire le conflit. Il y a aussi des personnalités qui préfèrent une lecture alternative donnée par le physicien néerlandais, **Hendrik Antoon Lorentz** (1853–1928), co-lauréat (avec Pieter Zeeman) du prix Nobel de physique en 1902.



**LA DISTINCTION
QUE L'ON VOUDRAIT VOIR
ENTRE UN OBJET AU REPOS ET
EN MOUVEMENT UNIFORME N'A AUCUN
SENS PUISQUE NOUS NE POUVONS PAS
RÉALISER L'EXPÉRIENCE QUI LA VAUDRAIT.
POURTANT CETTE SUPPOSITION
SE TROUVE AU CŒUR DE
LA THÉORIE.**

Selon Lorentz, bien que nous ne puissions l'observer expérimentalement, un état au repos « réel » existe bel et bien. Certes, nous ne pouvons pas déterminer par expérience la « bonne » manière de séparer l'espace-temps en deux entités, espace et temps (ce qui rend les postulats d'Einstein possibles), mais cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas une bonne manière de découper le monde en espaces et en temps distincts.

Il s'ensuit que la théorie de Lorentz n'entraîne pas les conséquences profondes (en ce qui concerne l'entité temps) que présente, en revanche, la théorie de la relativité.

Dans tous les cas, les défenseurs d'un temps avec les temps ont encore beaucoup de progrès à faire. Ils devront non seulement répondre à McTaggart et à Williams, mais dorénavant aussi à Einstein.

La logique permet-elle de voyager dans le temps?

Abordons maintenant la question du voyage dans le temps. Cette question vient naturellement dans le contexte du concept d'un temps sans les temps car, si le temps est de même nature que l'espace, nous devrions pouvoir visiter d'autres temps, tout comme nous pouvons visiter d'autres lieux. Effectuer une réservation pour un séjour au temps des Grecs de l'Antiquité serait aussi facile que de réserver un séjour aujourd'hui ou demain dans les îles grecques.

Ce n'est pas un hasard si l'histoire la plus célèbre du voyage dans le temps, *La machine à explorer le temps* (*The Time Machine*)²⁵ que nous devons à H. G. Wells, démarre par un dialogue entre le voyageur (*Time Traveller*) et d'autres quant à la théorie du temps

*sans les temps*²⁶. Bien que la théorie du temps sans les temps ne soit pas encore formellement énoncée en 1895, année de publication du roman, il est évident que Wells pense à cette théorie du temps. Le héros dit que le temps constitue simplement la 4^e dimension et fait la comparaison de sa machine avec la liberté que procure un ballon à air chaud.



La machine de Wells – qui relève de la science-fiction – nous permettrait, comme le ballon, de nous affranchir du dernier obstacle, le temps. Nous pourrions alors nous déplacer dans le passé ou vers le futur presque à volonté.

En *logique pure*, les voyages dans le temps sont possibles, contrairement à ce que beaucoup ont affirmé. Pour être plus précis, l'idée du voyage dans le temps ne renferme pas de contradiction. Pour illustrer la « contradiction », on pourrait donner deux énoncés : « *Cet homme grand n'est pas grand* » ou « *Je suis allé au magasin et je n'y suis pas allé* ». Ces phrases décrivent des scénarios impossibles. Nombre de ceux qui ont réfléchi à la question du voyage dans le temps sont arrivés à la conclusion qu'elle n'avait pas de sens, mais nous allons démontrer maintenant que cette possibilité est parfaitement cohérente. Bien sûr, cela ne démontrera pas que c'est *physiquement* possible.

C'EST LOGIQUEMENT POSSIBLE QUE LES COCHONS PUISSENT VOLERST, MAIS LES LOIS DE LA PHYSIQUE ET DE LA BIOLOGIE LES EN EMPÊCHENT.



ET QUAND BIEN MÊME LA POSSIBILITÉ DE VOYAGER DANS LE TEMPS EST DÉMONTREE, D'UN POINT DE VUE PUREMENT LOGIQUE, IL N'EST PAS DÉMONTRE QUE LA SCIENCE L'AUTORISERAIT.

Pour quelle raison quelqu'un estimerait-il que voyager dans le temps est logiquement impossible ? Il y a des raisons, mais elles touchent à des bizarreries qui résulteraient d'une mise en œuvre de la possibilité. Prenons quelques exemples, à commencer par des cas anodins, puis augmentons le degré de bizarrerie pour atteindre des situations, pour le coup, totalement absurdes.

La logique de l'impossible

Si j'avais la capacité de renvoyer des objets dans le passé, je pourrais vous envoyer une lettre – par exemple pour vous demander votre numéro de téléphone – que vous recevriez *avant même* le moment où je l'ai expédiée.



Vous pourriez alors me transmettre votre numéro de téléphone avant que je n'écrive la lettre ?

À ce moment-là, pas besoin d'écrire puisque j'aurais déjà reçu votre numéro.

Mais alors, je n'aurais pas votre numéro, n'ayant ni écrit ni expédié la lettre où je vous le demande... Et ainsi de suite.

Cet enchaînement est sans aucun doute bien étrange et perturbant, mais ne constitue pas en soi une contradiction logique, loin s'en faut... Et c'est cette question qui nous préoccupe.



La personne peut simplement avoir oublié la lettre déjà reçue (avec le numéro de téléphone demandé), ou peut-être veut-elle recevoir une seconde lettre, peu importe les raisons. Les gens peuvent être étranges ; cela ne modifie en rien la logique de la situation.

Le livre que personne n'a écrit

Approchons-nous d'une vraie contradiction. J'achète, à une librairie sur Charing Cross Road, à Londres, un exemplaire de *A tale of two cities*, de Charles Dickens. Ensuite, j'utilise ma machine à remonter le temps pour faire déposer le livre devant la porte de la maison de Dickens²⁸ à Bloomsbury, en l'an 1855, soit quelques années avant même qu'il ne l'écrive.



Dickens copie ce
texte et le publie
chapitre par chapitre,
à partir de l'an 1859.

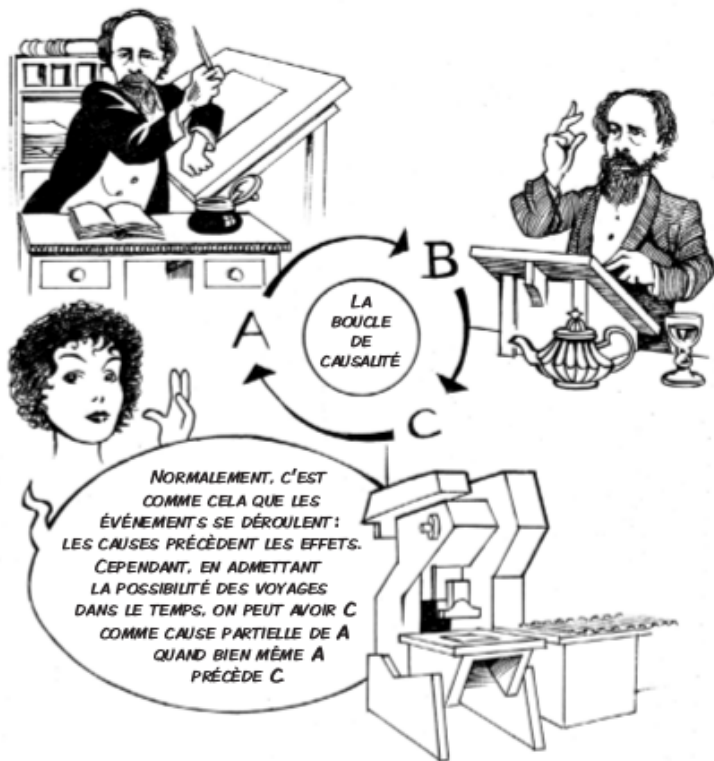
L'histoire est bien accueillie par les lecteurs de l'époque et devient célèbre au point que lorsque Dickens meurt en 1870, les éditeurs rassemblent les chapitres de la série et les publient en un seul ouvrage, vendu des années durant... jusqu'aujourd'hui quand je l'achète, en 2000.

Et voilà que cela devient étrange. Dickens n'a pas eu de mal à produire son texte, car il n'avait même pas besoin de l'écrire. Mais, si ce n'est pas Dickens, qui en est donc l'auteur? Réponse, personne! Tous les exemplaires (donc les copies du récit) qui existent dans le monde ont été (re) produits, soit à la main, soit par reprographie. Mais si le monde a été construit de la sorte – et c'est possible si le voyage dans le temps existe –, alors les idées et les informations contenues dans *A tale of two cities* n'ont jamais eu de créateur/découvreur.



La boucle de la causalité

Le récit contenu dans *A tale of two cities*, pour faire simple, a une existence du temps sans les temps, dans ce que les philosophes appellent une *boucle de causalité*²⁹. Nous introduisons trois événements dans la boucle qui nous intéresse : événement **A** où Dickens recopie le manuscrit, événement **B** où Dickens fait des lectures publiques et événement **C** où les éditeurs assemblent et impriment mon exemplaire en 1999. Chaque étape de ce scénario à trois temps constitue la cause (au moins partielle) de celle qui suit. **A** est en partie la cause de **B**, et **B** de même pour **C**.



Il n'y a ici aucune incohérence logique. Rien ne peut à la fois avoir lieu et ne pas avoir lieu. La boucle à quatre dimensions existe et, indépendamment de sa « bizarrerie », elle est conceptuellement cohérente. Peut-être de telles choses n'ont pas lieu dans notre monde; il se peut qu'une telle boucle contrevienne à une loi de la Nature. Mais, pour autant, elle ne contredit pas les lois de la logique.

Si vous avez vu le film Terminator, vous avez rencontré une boucle de causalité apparemment cohérente, sans vous en être rendu compte. Dans ce film, de méchants ordinateurs et robots prennent le pouvoir et réduisent les humains à l'état d'esclaves.

Un être humain rebelle représente une menace pour les robots, alors ils inventent une machine à tuer, le Terminator que campe Arnold Schwarzenegger, qu'ils renvoient dans le passé pour tuer la mère du rebelle avant que celui-ci ne naisse. Le Terminator ne réussit pas sa mission...



LE POINT DÉTERMINANT DANS LE RÉCIT EST QUE DES PARTIES DE MON CORPS RESTENT DANS LE PASSÉ ET C'EST PRÉCISÉMENT À PARTIR DE CES ÉLÉMENTS TECHNOLOGIQUES QUE NAISSENT ET SE REPRODUISENT LES ROBOTS DU FUTUR MALÉRIQUE.

Si les robots n'avaient pas envoyé le Terminator dans le passé, ils n'auraient pas pu exister eux-mêmes. Mais dans le film, ils sont là, ce qui indique que le Terminator est bien arrivé dans le passé, car c'est de lui que découle leur existence. De même, tout comme les informations dans *A tale of two cities* n'étaient pas créées (dans notre fable ci-dessus), les informations technologiques nécessaires à la création d'une société de robots n'avaient pas encore été inventées.

Une contradiction logique des voyages dans le temps

Très bien. Nous voici à présent avec une apparente conséquence du voyage dans le temps qui enfreint les lois de la logique. Imaginons, pour une raison quelconque, que vous détestez la vie que vous menez et que vous décidez d'en finir avec elle. Étant méticuleuse, voulant tout ranger, vous voulez effacer la totalité de votre existence et pas seulement le futur (ce qui pour vous n'existera pas après l'acte suicidaire). Vous voulez éliminer toute trace de votre misérable existence. Pour cela, vous concoctez le plan suivant.





JE L'AI FAT...

EN SOMME,
**VOUS EXISTEZ ET
VOUS N'EXISTEZ PAS.**
EN MÊME TEMPS!

Selon une version de l'histoire du monde, vous avez existé comme une enfant de 8 ans, en 1985. Puis, selon une autre version, vous avez été tuée alors que vous n'étiez encore qu'un bébé et donc il ne peut y avoir une autre toi à 8 ans en 1985. Mais, voyons, il n'y a qu'un monde et une histoire du monde.



EN 1985,
TU NE POUVAIS À
LA FOIS EXISTER COMME
ENFANT DE 8 ANS ET
NE PAS EXISTER.

ÇA C'EST
UNE CONTRADICTION
LOGIQUE.

ET ÇA, CE N'EST
PAS BIEN CAR IL NE
PEUT Y AVOIR DE
CONTRADICTION LOGIQUE.

Donc, à moins qu'il y ait des univers, des histoires ou quoi que ce soit de parallèle ici-bas, il semblerait que les voyages dans le temps doivent aussi admettre des paradoxes logiques.

Les contradictions logiques ne peuvent exister

Cette possibilité que puissent exister des paradoxes a troublé le physicien théoricien et cosmologiste britannique, **Stephen Hawking** (né en 1942) de l'université de Cambridge. Il voulait démontrer que le monde est un endroit sûr pour les historiens. Toutefois, si Hawking avait remarqué un article du philosophe américain **David Lewis** (1941–2001), peut-être n'aurait-il pas souffert autant pour savoir si un voyage dans le temps autoriserait ou non des paradoxes logiques.

Il y a deux points à souligner si on veut décider si un voyage dans le temps est possible ou non. D'une part, les contradictions logiques ne peuvent exister et, par conséquent, rien ne peut les « autoriser ». D'ailleurs, comme le philosophe **Robert Weingard** (1942–1996)³⁰ l'a si bien exprimé...



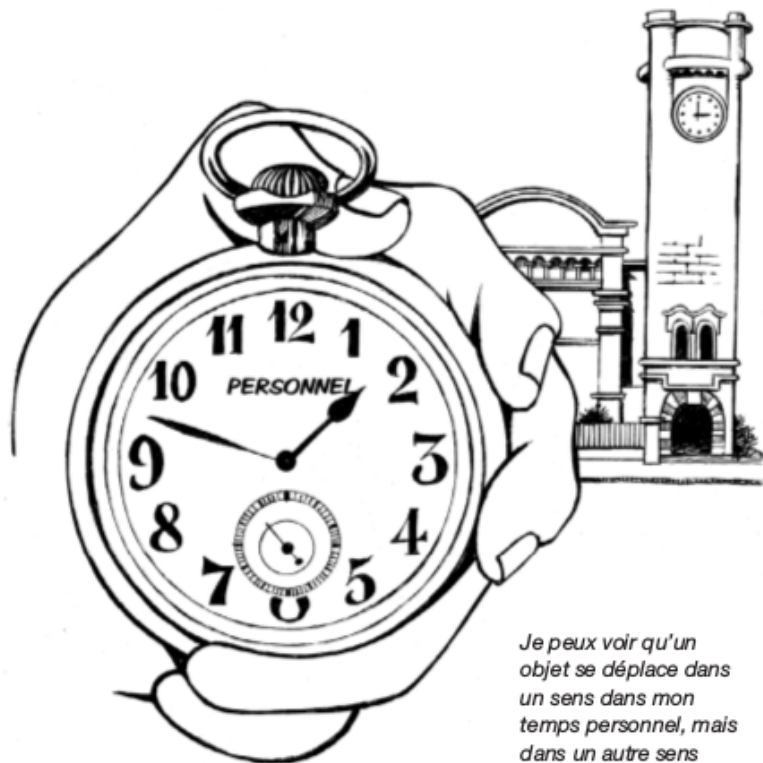
En règle générale, si vous remontez le temps et puisque votre voyage vers le passé a déjà eu lieu (par rapport à votre point de départ), vous ne créez pas de contradiction pendant le voyage, étant donné que vous n'y avez rien fait.



Conclusion : il existe des scénarios de voyages dans le temps qui sont parfaitement cohérents.

Le temps personnel

Selon Lewis, nous pouvons évoquer *un temps personnel*. Ce temps personnel est un paramètre d'ordonnement du temps que nous pouvons définir à partir des processus physiques et mentaux de chacun(e).



Je peux voir qu'un objet se déplace dans un sens dans mon temps personnel, mais dans un autre sens par rapport à un autre temps, externe et réel.

À l'instar des voyageurs dans le temps.

Apparemment, nous n'en sommes pas puisque notre temps personnel est le même que le temps externe et réel. Mais d'un point de vue strictement logique, rien ne s'oppose à ce que le temps personnel diffère du temps externe. Prenons un exemple, pour illustrer cela.

Mourir avant sa naissance

Supposons, par exemple, que vous êtes née en 1980 et que vous vous rendez en visite à Londres en 2010. Vous vous apprêtez à passer un appel depuis une cabine téléphonique. Par erreur, vous pénétrez dans une machine à remonter le temps (celle du Dr Who, le TARDIS). Vous touchez un peu les manettes et vous expédiez bêtement loin dans le passé, quelque 60 millions³¹ d'années, pour arriver dans le Crétacé. Vous sortez de la machine, paniquez, vous cachez et réussissez tant bien que mal à survivre 5 ans avant de vous faire empaler sur la corne d'un énorme tricératops.



Dans cet accident tragique et mortel, vous êtes morte avant de naître.

C'est-à-dire qu'en un temps externe mais réel, vous êtes décédée des millions d'années avant de naître, mais dans votre temps personnel vous mourrez dans votre 35^e année.

Il n'y a rien de logiquement incohérent dans ce scénario du Crétacé. En un sens, il se peut que vous soyez décédée avant de naître – pris dans un autre sens (celui de votre temps personnel), vous mourrez après être née.



Rien d'incohérent dans la logique ou dans la théorie du temps sans les temps ne vous empêche de mourir à un temps différent de celui où vous êtes née; tout comme rien ne dit si vous devez mourir dans l'hémisphère nord même si vous êtes née dans l'hémisphère sud.

Ce qui est important à retenir dans notre saynète du Crétacé, c'est que si cela se passe ainsi, alors de notre point de vue contemporain, vous existiez déjà dans le passé, donc le futur (relatif) se doit d'être compatible – l'histoire du monde ne se déroulera qu'une fois.

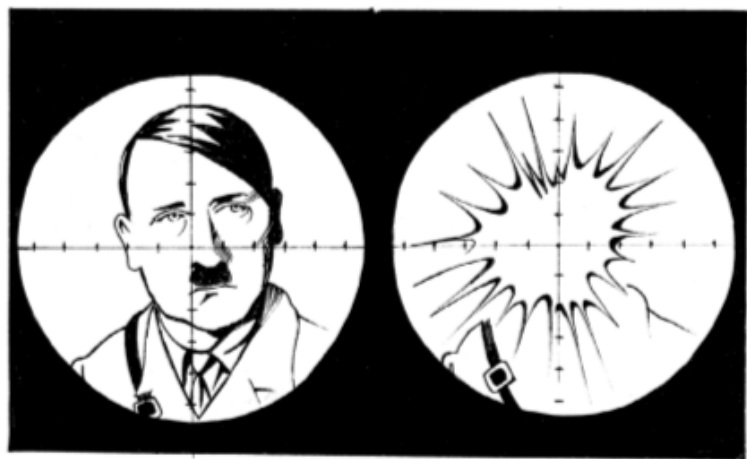
La compatibilité avec le futur



Pouvons-nous changer le cours des événements passés ?



Cela nous amène à la question la plus fréquente concernant les voyages dans le temps. Pouvons-nous modifier le cours des événements du passé, en y retournant. La réponse ici dépend de ce que vous entendez par « changer le passé ». Si « changer » implique de faire qu'un événement qui a réellement existé n'existe plus, la réponse est « non », car cet événement aurait simultanément une existence et une non-existence, et cela est impossible. Pris dans ce sens, non seulement nous ne pourrions pas changer le cours du passé, mais il en sera de même pour les événements contemporains ou ceux du futur. Nous ne pouvons pas rendre vraies des situations contradictoires.



Par conséquent, si les événements de la Seconde Guerre mondiale ont réellement existé, il n'est pas en notre pouvoir de les changer, de les effacer, quand et si nous remontons le temps à cette époque.

Pouvons-nous influencer sur le cours du passé ?

Si aujourd'hui vous êtes pauvre, rien de ce que vous ferez dans le passé ne va changer cet état des choses. Mais cela ne veut pas dire que l'on ne peut influencer sur le passé dans le sens plus habituel. Si nous retournons dans le passé jusqu'à un certain point, nous pouvons influencer sur les événements qui sont postérieurs à ce point, de même que nous pouvons aujourd'hui influencer sur le futur. Cependant, si nous retournons dans le passé à un point antérieur au présent, les événements auront déjà eu lieu et cela ne changera pas le présent que nous connaissons aujourd'hui.



Deux sortes d'histoires de voyages dans le temps

Il y a, d'un côté, les histoires cohérentes et, de l'autre, les incohérentes. Une histoire cohérente n'efface pas, ne fait pas disparaître des événements, tandis que les histoires incohérentes le font. Dans de nombreux récits – par exemple, les épisodes de la série américaine *Code Quantum* et certains épisodes de *Star Trek* –, l'idée principale consiste à changer des événements qui ont déjà eu lieu. Selon la théorie du temps sans les temps, cette intention est licite et plausible tant que les acteurs ne réussissent pas à opérer des changements. Mais nous noterons que dans ces séries, il y a toujours deux avenir possibles, l'un où tout « va de travers » et l'autre où les choses s'arrangent et pour finir « vont bien ».



En revanche, on peut très bien imaginer un conte d'enfants où notre voyageur dans le temps remonte aux temps historiques pour donner certaines informations utiles aux Hommes des cavernes... Puis il revient au présent.

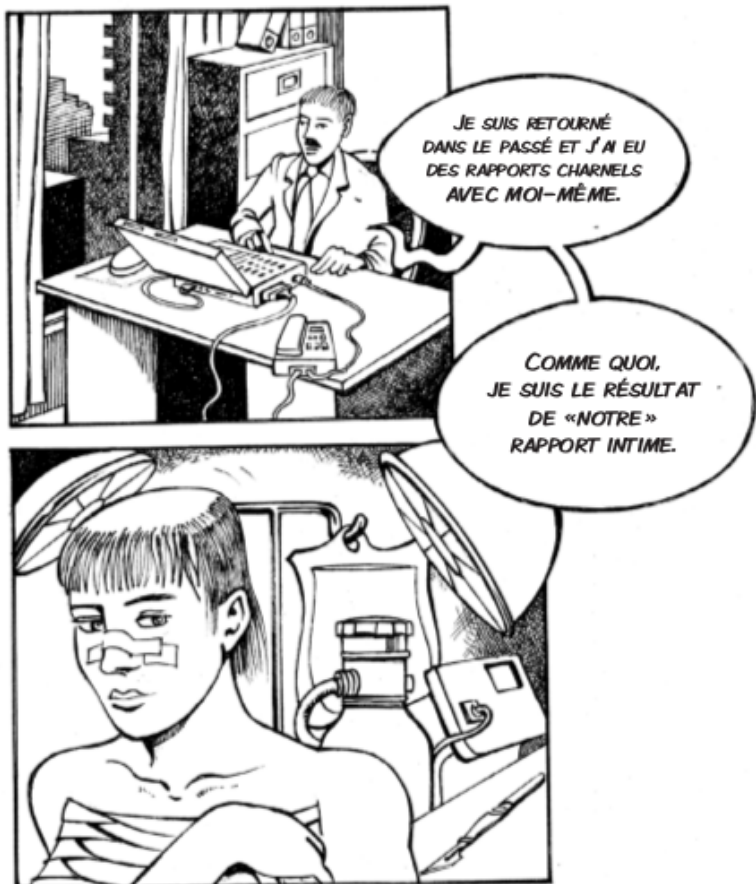


«Entre-temps», c'est-à-dire dans le présent, nous avons des peintures murales des grottes qui montrent un homme en tout point semblable à notre voyageur qui a enseigné différentes choses aux Hommes de l'âge de pierre.



Cette histoire est cohérente: le voyageur est bel et bien retourné dans le passé à la rencontre de ces Hommes préhistoriques; il a influé sur les événements du moment et l'avenir y correspond parfaitement. Voilà ce qui s'est toujours passé.

Beaucoup d'autres histoires de voyages dans le temps sont cohérentes, certaines sont même très bizarres. Dans « - *All You Zombies* - »³², histoire courte publiée en 1959 que nous devons à **Robert Heinlein** (1907-1988), on trouve probablement l'histoire la plus étrange, quoique cohérente. Une orpheline devient et sa propre mère et son propre père après une intervention de changement de sexe avant de remonter dans le temps.



Établir la cohérence logique des voyages dans le temps est une chose, mais c'en est une autre de prétendre que cela puisse avoir lieu. Après tout, il est logiquement possible que les cochons puissent un jour voler. La question subsiste : les lois de la physique permettent-elles de voyager dans le temps ?

La physique autorise-t-elle les voyages dans le temps ?

Pour commencer, nous devrions mentionner que, grâce à la relativité spéciale, il existe un type de voyage dans le temps qui nous est déjà possible. Mais il n'est pas des plus excitants. Il met en œuvre ce que nous appelons la «dilatation du temps» relativiste. Peut-être avez-vous déjà entendu parler du «paradoxe des jumeaux». Une jumelle quitte la Terre à bord d'une fusée et, après un trajet qu'elle a chronométré à 5 ans, elle revient sur Terre.



Et si la première jumelle avait entrepris un voyage encore plus vite, elle serait revenue sur Terre des centaines d'années plus tard (en temps terrestre). Pris dans ce sens relativiste, elle a pu voyager dans le temps.



VOILÀ JE
SUIS DE RETOUR MAIS
TOI TU ES DEVENUE
UNE VIEILLE !



SI JE ME RÉFÈRE
À MON HORLOGE ET DONC
À MON TEMPS PERSONNEL,
C'EST-À-DIRE L'HEURE DE LA TERRE,
IL S'EST ÉCOULÉ 30 ANS DEPUIS
TON DÉPART.

Les horloges en mouvement «avancent» plus lentement

L'explication de cette dilatation du temps est la suivante. Vous claquez des doigts... et vous les claquez une seconde fois. Nous appellerons le premier claquement **A** et le second **B**. Avec une montre, vous allez mesurer le laps de temps entre les claquements, un temps désigné par **T**. Quelqu'un qui vous croise (mais qui n'accélère ni ne décélère) va mesurer avec sa montre l'intervalle entre **A** et **B** comme ayant la valeur **T***.



Si l'autre personne se déplace lentement comparé à votre déplacement, alors γ sera plus près de 1, voire quasi égal à 1. Vous allez donc tous les deux percevoir **A** et **B** séparés d'un même laps de temps, disons 5 secondes.

En revanche, si la personne qui vous croise se déplace très, très vite et proche de la vitesse de la lumière, alors la valeur de γ sera proche de 0, et dans ce cas T peut être très différent de T^* .

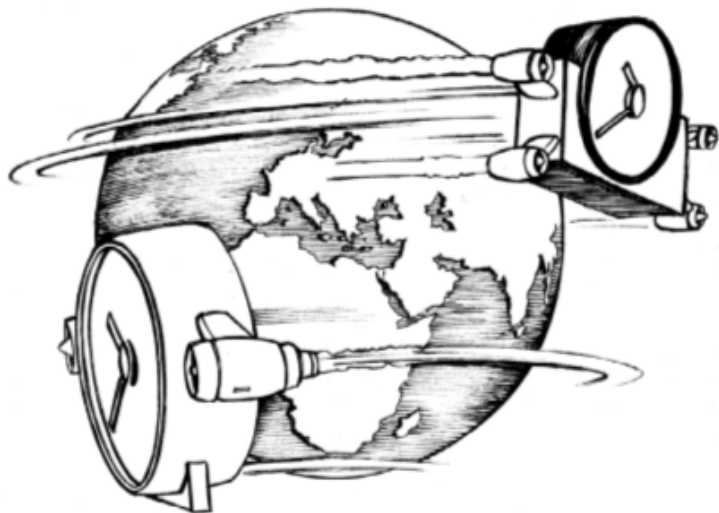


L'horloge de la jumelle partie à bord de sa fusée «ralentit» comparée à celle de la jumelle qui est restée sur Terre. C'est pour cette raison que la jumelle qui voyage dans l'espace vieillit seulement de 5 ans, tandis que sa jumelle restée sur Terre vieillira de 30 ans.

De petites économies temporelles

Le phénomène de la dilatation du temps a été observé lors d'expériences variées. L'observation sans doute la plus spectaculaire a été réalisée en comparant l'heure affichée par une horloge atomique en vol avec celle affichée par d'autres, restées au sol.

Cf. l'expérience menée par **Joseph Hafele** (physicien) et **Richard Keating** (astronome) en 1971³³.



Leurs observations ont abouti à la conclusion que des horloges à bord de jets volant vers l'est avaient perdu environ 59 nanosecondes...

et gagné environ 273 nanosecondes en volant vers l'ouest. La différence est causée d'une part par la rotation de la Terre sur son axe d'ouest en est, et d'autre part par la différence de gravité à l'altitude de croisière de 9 000 m.

Cette manière de gagner/perdre du temps n'est guère intéressante pour deux raisons : d'abord, il n'y a pas beaucoup de retour sur investissement (ROI). Si vous disposez de fonds illimités et si vous voyagez 25 ans non-stop à bord d'avions commerciaux (subsoniques) vers l'est, vous aurez gagné, lors de votre dernier atterrissage, au mieux 3 millièmes de seconde par rapport aux horloges restées à terre.

La navette spatiale pourrait vous faire gagner un peu plus (car environ 25 fois plus rapide, ce qui se traduit par un gain de moins d'un centième de seconde), mais si gagner quelques secondes se fait à ce prix-là, ce n'est sûrement pas la peine. Conclusion, ce genre de voyage dans le temps restera au royaume des rêves.



Relativement à votre impression personnelle d'un déplacement dans le temps, rien ne change. Quoi qu'il en soit, c'est un voyage dans le temps à sens unique – vous ne pouvez pas retourner en arrière. Ce sera sûrement décevant, car vous ne pourrez pas revenir nous raconter vos exploits.

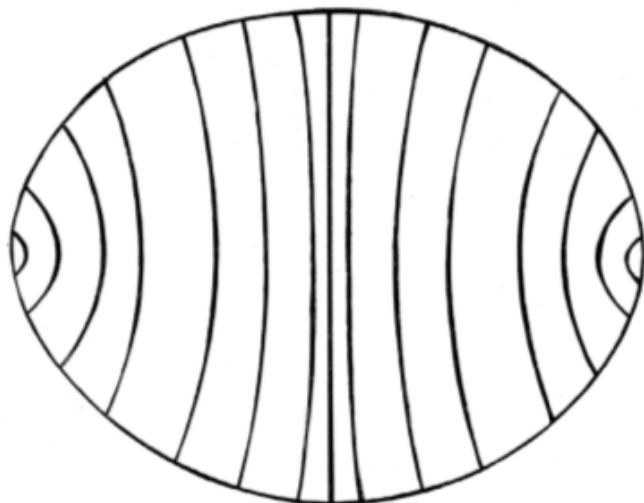
La relativité générale et la courbure du temps

Le génie qui mena au triomphe d'Einstein, à savoir la relativité générale (découverte en 1917), permet d'envisager des voyages dans le temps bien plus exotiques. Pour s'en convaincre de façon simple, nous n'avons pas, heureusement, à assimiler toutes les équations de la relativité générale. Nous pouvons réfléchir, en revanche, à l'une des avancées conceptuelles majeures de cette relativité générale, à savoir l'idée que l'espace-temps à quatre dimensions pourrait se révéler courbé.

Nous connaissons des courbes dans notre vie quotidienne. Cette ligne à une dimension peut être courbée et ressembler (avec ses deux dimensions) à :



Une surface à deux dimensions peut être courbée pour prendre la forme (tridimensionnelle) d'un ballon :

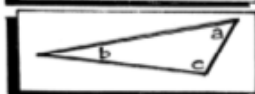
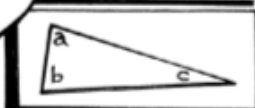
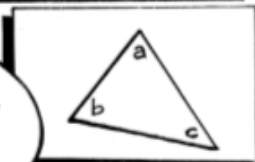


Dans chaque exemple ici, nous pouvons imaginer que l'objet initial a été courbé afin d'acquérir une dimension supplémentaire. Les courbes ajoutées à la ligne à une dimension sont inscrites dans un plan à deux dimensions (cette page).

Est-ce que cela signifie que pour courber un objet à quatre dimensions, il faille ajouter une 5^e dimension ? La réponse est « non », car il existe aussi une façon bien définie de considérer que la courbure est en fait une caractéristique intrinsèque de l'objet lui-même, sans devoir faire référence à des espaces au nombre de dimensions plus élevé.



Alors, en me guidant à l'aide d'un rapporteur, je pourrai suivre une ligne droite et tracer ainsi un triangle sur cette surface.



$$a + b + c = 180$$

Or, nous savons qu'en additionnant les trois angles d'un triangle posé sur une surface plane, la somme totale des angles fera 180°, quelle que soit la forme du triangle. Ainsi vous savez, en fait, que vous êtes sur une surface plane.

Pourquoi nous n'avons pas besoin d'une 5^e dimension

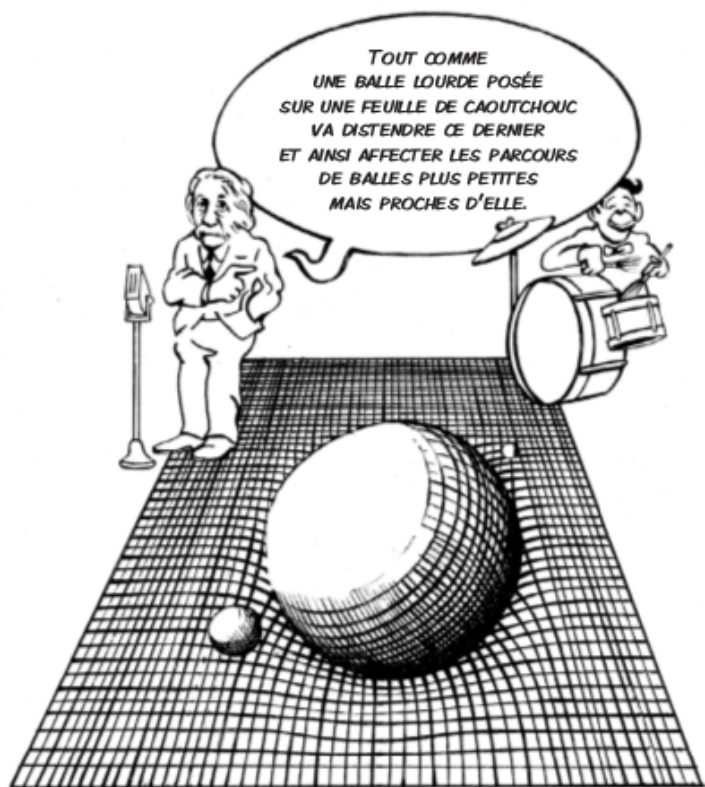
Si maintenant vous dessinez votre triangle sur une surface courbe, disons celle du ballon de basket, la somme des angles va dépasser les 180°. Le « pôle nord » du ballon, **b**, sera l'un des sommets, et de là on tracera une ligne droite (courbée) jusqu'à couper l'équateur en **a**. On tourne le ballon sur son axe de 90° et on retracera une ligne droite (toujours courbée) vers l'équateur le coupant en **c**, et enfin on tracera la ligne le long de l'équateur entre les deux points **b** et **c** (où les verticales le coupent).



Le point important à retenir est qu'en tant qu'objet à deux dimensions, vous pouvez mener à bien cette expérience sans devoir invoquer la nécessité d'un nombre supérieur de dimensions. Il s'ensuit que nous n'avons nul besoin de cinq dimensions pour comprendre qu'un espace-temps à quatre dimensions est courbé.

La courbure de l'espace-temps

L'évidence devant laquelle nous sommes suggère que notre Univers est courbé. C'est cette courbure qui expliquerait les forces de la gravité. Les rayons de lumière, par exemple, se propagent en lignes droites. Mais les scientifiques ont observé – au voisinage du Soleil – qu'ils dévient un peu. L'explication réside dans la relativité générale qui dit, très sommairement, que c'est la masse gravitationnelle du Soleil qui entraîne une distorsion de l'espace-temps (en somme une courbure) telle que les rayons s'incurvent vers notre astre pour, en quelque sorte, lui « tomber » dessus...



Sur un plan local (dans de petites régions), cependant, l'espace-temps nous paraît plat et la relativité spéciale nous en donne une approximation satisfaisante.

La relativité générale et les voyages dans le temps

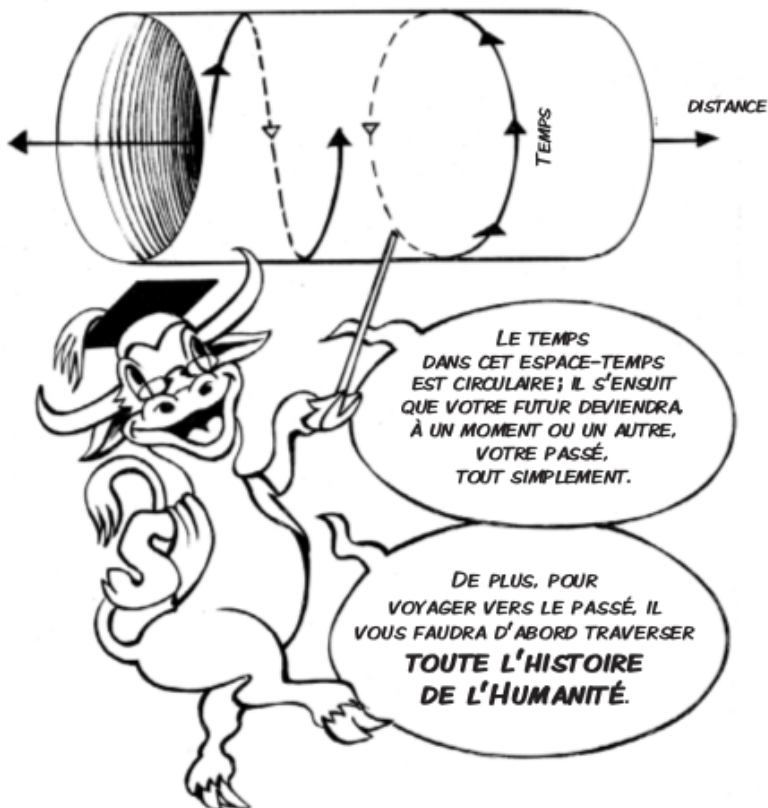
Revenons à notre étude de la possibilité de voyager dans le temps. La digression que nous nous sommes permis dans le domaine des espaces-temps courbés se justifie dans la relativité générale, à savoir qu'elle autorise des univers réellement courbés. Et quelques-uns, parmi ces univers courbés, permettraient de voyager dans le temps. Ainsi la relativité générale nous enseigne ce que les lois de physique autorisent ou pas, puis nous dit que ces lois de la physique permettent les voyages dans le temps. Nous y reviendrons plus loin, mais voyons d'abord «comment ça marche».

Prenons un espace-temps plat (donc à deux dimensions), du modèle que nous avons présenté jusqu'ici. Pour faciliter mon propos, considérons que le monde a une dimension dans le temps et une dimension dans l'espace (on supprime pour les besoins de la démonstration les deux autres dimensions spatiales). On peut prendre l'analogie de la simple feuille de papier.



C'est un modèle tout à fait légitime pour représenter l'espace-temps. Celui-ci n'est pas intrinsèquement courbé – la preuve : vous n'avez pas besoin d'étirer ou de rétrécir le papier (la somme des angles inclus dans les triangles plans est toujours de 180°). Mais en voyageant vers le futur, comme vous le faites normalement, à un moment donné vous retournerez dans votre passé.

Il est même possible d'avoir des « boucles causales fermées » (telles que celles présentées p. 74 et 75). C'est un genre d'espace-temps qu'autorise la relativité générale. Cependant, voyager dans le temps le long d'un « cylindre espace-temps » ne constitue pas exactement ce que nous entendons par « voyage dans le temps ». Dans la réalité, vous ne pouvez pas retourner dans le passé.



Ce n'est pas ce que vous voulez au quotidien quand vous envisagez de voyager dans le temps.

La rotation dans un univers gôdelien

Cette lecture du monde et des courbures de l'espace-temps donne lieu à quelques espaces-temps fort exotiques et qui, de surcroît, autoriseraient les voyages dans le temps. Le plus exotique parmi ceux-là est sans conteste celui découvert en 1949 par le logicien **Kurt Gödel** (1906–1978), célèbre sans doute pour avoir mis en évidence l'un des résultats les plus profonds de la logique mathématique du XX^e siècle, à savoir le « théorème de l'incomplétude ³⁵ ».



Ce n'était pas une mince affaire. Mais pour celui qui était sans doute le meilleur logicien du XX^e siècle, travailler aux solutions de ces équations était probablement comparable à une personne ordinaire s'attaquant à une grille de mots croisés.

Chaque solution des équations de la relativité générale décrit un espace-temps autorisé par les lois de la relativité générale et, par conséquent, permis par les lois de la Nature. La solution de Gödel dans ce sens est très étrange. Notre Univers, nous le savons, est en expansion constante, quel que soit le point de référence. Il n'y a pas de centre de l'Univers³⁶.



Et tout comme notre vision d'un Univers en expansion, celui de Gödel n'a pas non plus de centre, du moins unique. Car, du point de vue d'un observateur quelconque, c'est toute la matière de l'Univers qui est en rotation.

L'espace-temps dans un univers en rotation

La rotation peut donner lieu à de curieux effets. Si, par exemple, vous tournez la pagaie de canoë sous l'eau, vous verrez que la rotation entraîne l'eau environnante dans un mouvement d'eau tourbillonnant.



En règle générale, l'effet est minime, donc vous pouvez vous abstenir de penser réussir à faire tourner l'espace-temps avec une toupie sur votre bureau. En revanche, si toute la masse de l'Univers tourne autour de votre personne, les effets de traînée seront pour le moins spectaculaires.

Ce que « l'entraînement » produit est une distorsion de l'espace-temps telle que les futurs de certains événements peuvent être renversés; je vais maintenant expliquer cela. Plus tôt, quand nous avons analysé la relativité spéciale, nous avons vu que chaque événement possède un cône de lumière passé et un cône de lumière futur.



Nous supposons, pour les besoins de la démonstration, qu'au départ tous les cônes de lumière sont orientés dans le même sens.

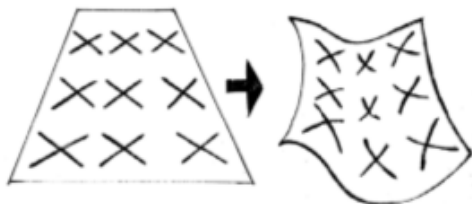
Les effets de la courbure de l'espace-temps

La courbure permet aux cônes de lumière de s'incliner les uns par rapport aux autres. Prenons le cas d'une personne qui se déplacerait sur notre feuille de caoutchouc censée représenter l'espace-temps. Imaginons à présent que la surface de la feuille soit couverte de symboles **X**, tous orientés dans le même sens. Ici, chaque symbole **X** représente le cône de lumière associé à ce point et, comme précédemment, les lignes de **X** (ou rayons de lumière) s'en éloignent tous à 45°...

Nous plaçons une balle lourde sur la feuille.

Cela va avoir pour effet de faire pencher les **X** vers (ou à l'opposé) les autres, ce qui étend les limites de la surface que le voyageur peut explorer. Il est même

possible que les **X** se renversent complètement. Si ces **X** sont disposés convenablement, nous pouvons alors tracer une ligne droite sur la feuille telle qu'elle revienne à son origine, dans la partie haute des **X**.



**RAPPELONS
LA SIGNIFICATION DE
LA FEUILLE ET
DES X.**

**LA FEUILLE
REPRÉSENTE L'ESPACE-TEMPS.
LA LIGNE CORRESPOND
AUX DÉPLACEMENTS DU VOYAGEUR
DANS LE MONDE ET LES HAUTS
DES X SONT SES CÔNES
DE LUMIÈRE DU FUTUR.**

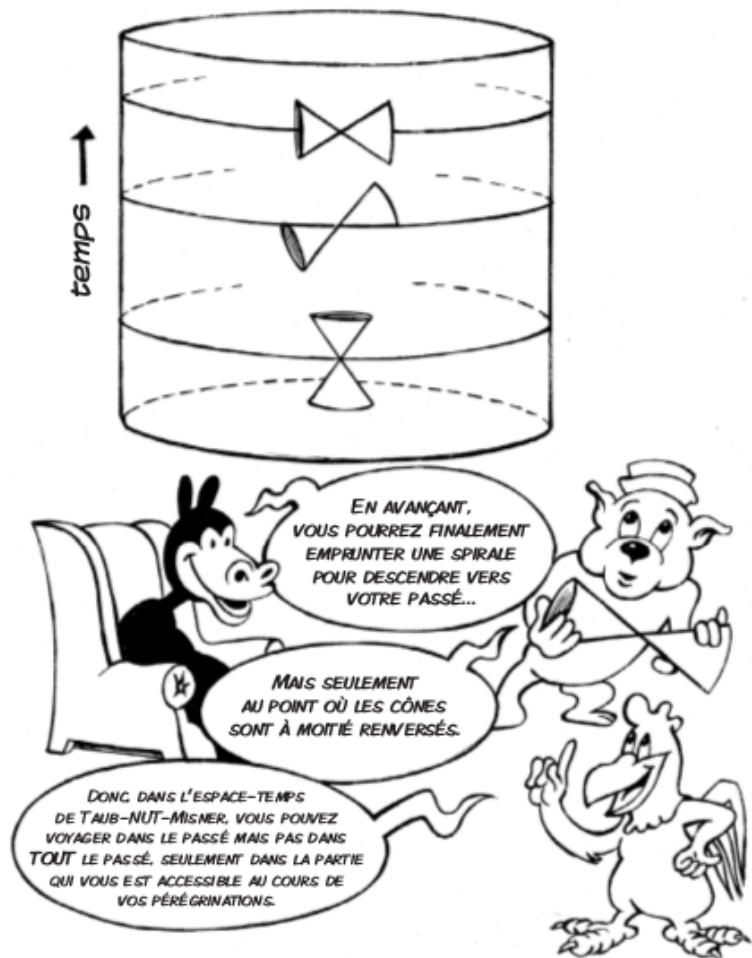
Ce petit exercice est destiné à montrer que l'on peut concevoir un espace-temps courbé tel que les cônes de lumière du futur se retrouvent dans le passé. Et le voyageur peut s'en servir pour remonter dans son passé simplement en voyageant dans son futur proche.



Arrivés à un certain point, les cônes de lumière sont renversés sur le côté. Ainsi, en vous éloignant encore davantage, là où les cônes sont complètement renversés, vous aurez la possibilité de «descendre» dans votre passé pour remonter à un point dans l'espace-temps antérieur à votre point de départ!

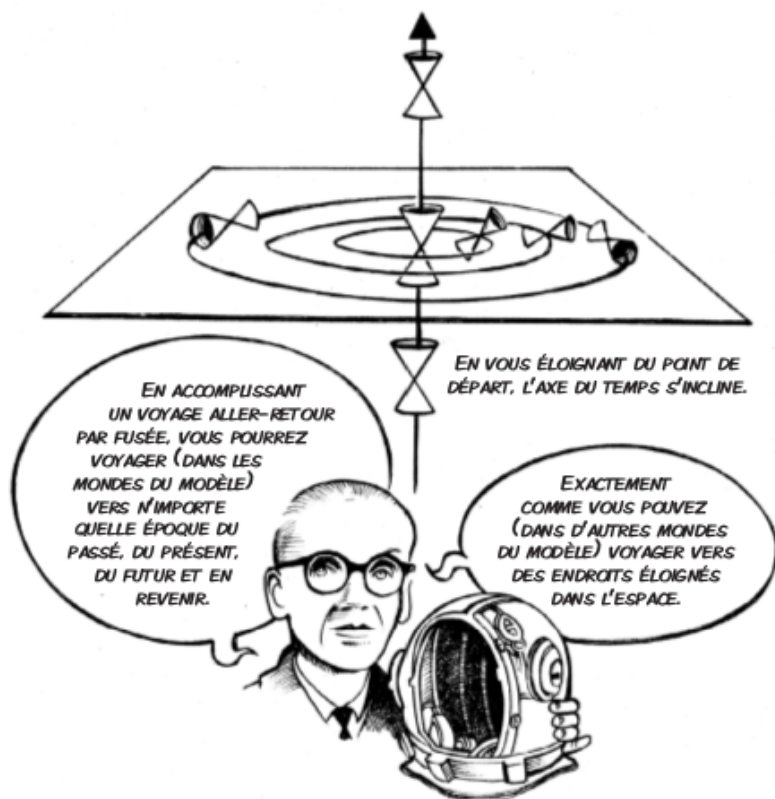
L'espace-temps Taub-NUT-Misner

L'espace-temps **Taub-NUT-Misner**³⁷ constitue une autre forme de voyage dans le temps qui offre des solutions dans la relativité générale. C'est aussi une sorte d'espace-temps cylindrique, un peu comme celui où l'on roule une feuille de papier en forme de cylindre, sauf qu'ici la courbure est intrinsèque et, de ce fait, ne requiert ni ciseaux, ni collage ; **il se tient debout** plutôt que d'être **couché**. Au fur et à mesure que vous « montez » dans l'espace-temps Taub-NUT-Misner, les cônes de lumière se renversent.



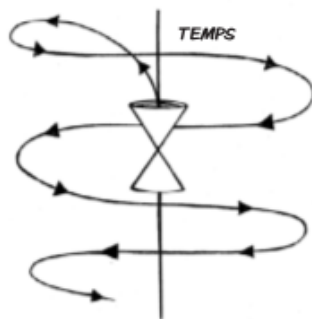
Les voyages illimités dans le temps selon Gödel

L'une des choses étonnantes dans le modèle que nous propose Gödel est qu'à travers chaque point, pris isolément dans son espace-temps, il y a des chemins autorisés par la physique qui permettent de voyager dans le temps. Et, en partant de chaque événement ainsi défini, vous pouvez rallier n'importe quel autre événement. Pour citer Gödel (1949):



De plus, vous n'avez pas besoin de parcourir toute l'histoire du monde pour pouvoir remonter dans le temps³⁸. Il vous suffit de faire d'abord un petit « détour », ce qui vous permettra par la suite d'aller n'importe où (plus grand est le détour, plus vous pourrez vous éloigner dans le passé ou vers le futur).

Le voyage dans le temps est-il possible selon Gödel?



Bien sûr, les voyages dans le temps, selon Gödel, vont coûter très, très cher. Le philosophe **David Malament** (né en 1947) a calculé la quantité d'énergie nécessaire pour voyager dans le temps dans un univers gödelien, toutefois il a également estimé, sur le plan technologique, que c'est impossible.

Donc, même si notre monde est gödelien – mais cela ne semble pas être le cas car le nôtre est en expansion constante et pas le sien, et il n'est pas en rotation non plus –, il y a des « considérants » pratiques qui nous empêchent de nous servir de ce modèle et de sa structure pour voyager dans le temps.



Le point important est que les lois de la physique de notre monde permettent l'existence d'une structure gödelienne – quand bien même il n'en posséderait pas une.

Gödel réfute le temps avec les temps

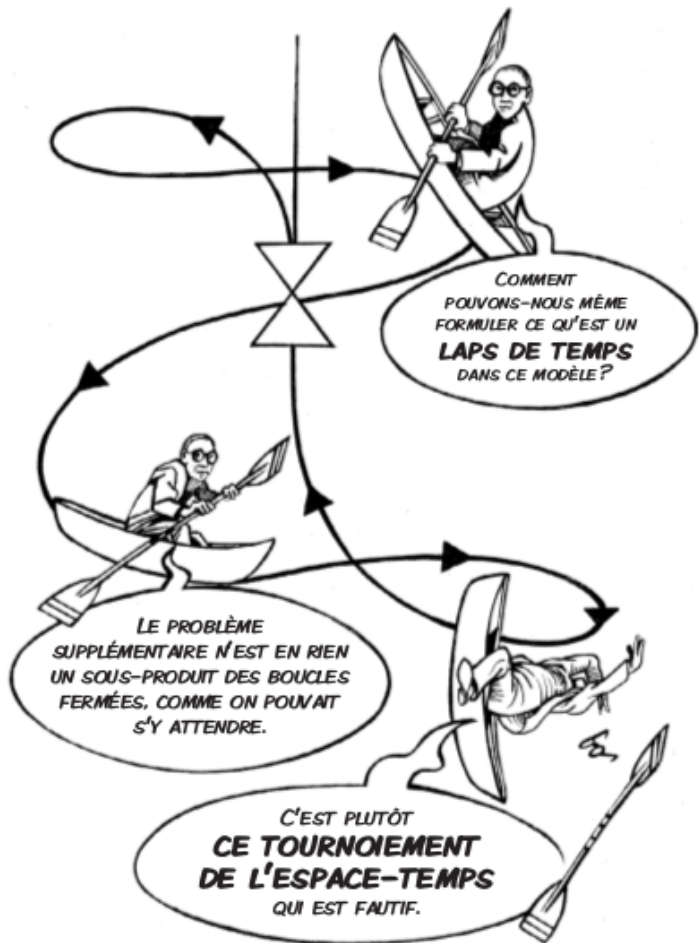
Gödel a estimé que l'espace-temps qu'il avait découvert nous enseigne quelque chose d'important en ce qui concerne la nature du temps, à savoir que **le temps n'existe pas**, ce que je vais expliquer maintenant. À l'instar de McTaggart, Gödel semblait défendre une théorie proche de celle du temps avec les temps. La théorie du temps avec les temps, rappelons-le, énonçait que le présent non relationnel est en mouvement et, ce faisant, rend réel un futur irréel. Plus tôt, nous avons pris note de la difficulté qu'occasionne la relativité spéciale à cette théorie. Par exemple, Putnam et d'autres ont avancé que la relativité de la simultanéité rendait cette vision du temps fautive. Si la relativité spéciale a donné tant de fil à retordre, imaginons ce qu'il en est avec l'espace-temps gödelien!



Il s'ensuit que les voyages dans le temps sont incompatibles avec la théorie du temps avec les temps.

Un second problème pour le temps avec les temps

Le second argument, sans doute plus drastique, nous dit qu'il est aussi impossible de subdiviser l'espace-temps gödelien en une série d'instants. On ne peut décrire l'espace-temps de Gödel en invoquant un « premier instant » qui avancerait pour devenir le « dernier instant ». Le problème avec la relativité spéciale venait du fait qu'il y avait trop de façons d'y arriver. Le problème avec Gödel est qu'il n'y en a pas une seule!



Les voyages dans le temps n'affectent aucunement le découpage de l'espace-temps en tranches de temps successives, comme il en existe dans l'espace-temps cylindrique. Celui-ci autorise une boucle de voyage dans le temps à travers tous les points, tout comme le permet le modèle gödelien...



Cela signifie que notre monde aurait pu se conformer à l'espace-temps de Gödel si la matière et l'énergie étaient réparties un peu différemment au départ. Mais ce « petit » écart aurait également impliqué la différence qui existe entre le fait de pouvoir vivre dans un temps avec *les temps* et ne pas pouvoir le faire. Est-ce possible? La réponse est « non », nous dit Gödel, qui conclut que **le temps n'existe pas en tant que tel** dans notre monde.

Et si Gödel avait tort ?

Comme cela était déjà le cas dans le raisonnement de McTaggart, ce qui suit peut être vu comme une attaque contre la théorie du temps avec les temps, et non comme une réfutation du temps en général. Mais certains ont aussi remis en question le raisonnement de Gödel. Pourquoi, demandent-ils, la nature, voire l'existence même du temps, ne pourrait-elle pas dépendre de la distribution de la matière et de l'énergie ? Après tout, de nombreux éléments importants en dépendent...!



Personnellement, j'estime que ce que voulait dire Gödel se résume ainsi : rien dans la physique classique ou moderne nous dit comment les distributions matière-énergie ont pu faire apparaître un passage du temps, tandis que nous savons comment différentes distributions matière-énergie ont abouti à un espace (idem pour le temps) fini ou infini.

Depuis 1949, il ressort qu'il y a beaucoup d'espaces-temps, en plus de celui du modèle gôdelien, autorisant les voyages dans le temps et conformes aux critères de la relativité générale. De plus, des physiciens ont spéculé sur différentes méthodes pratiques pour construire ou générer des trajectoires vers le passé.

L'une de ces idées, que nous devons à **Frank Tipler** (né en 1947)³⁹ est celle d'un cylindre de dimensions infinies...



Si cela peut marcher avec des cylindres fins et si un jour nous trouvons le moyen de mettre à profit des étoiles à neutrons – qui sont effectivement très massives et tournent très rapidement sur elles-mêmes –, nous pourrions peut-être essayer d'y parvenir. Mais il y a de nombreux et redoutables «si» avant de réussir.

La théorie des cordes cosmiques

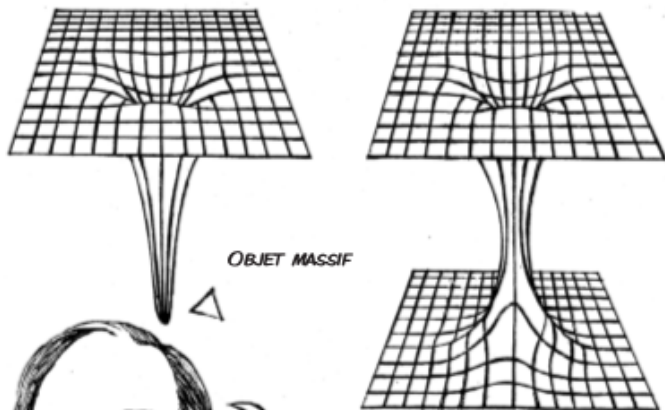
Une autre idée, émise par **J. R. Gott** (né en 1947)⁴⁰, avait démontré qu'une entité appelée *corde cosmique* pourrait créer des trajectoires nécessaires aux voyages dans le temps. Les *cordes cosmiques* sont des restes hypothétiques du « Big Bang », constitués de filaments très fins d'énergie pure qui traversent l'Univers de part en part.



Des trous de ver dans l'espace-temps

Une troisième idée – défendue avec acharnement dans les travaux que poursuit **Kip Thorne** (né en 1940) avec ses collègues californiens et par le Russe **Igor Novikow** (né en 1935) – prédit que l'on pourra entreprendre des voyages dans le temps en passant par des «trous de ver» dans l'espace-temps. Ce sont des trous de ver qui ont fourni les moyens de voyager dans le temps dans le roman de science-fiction *Contact* de **Carl Sagan** (1934–1996)⁴¹, porté à l'écran par Hollywood en 1997 avec Jodie Foster. En réalité, les travaux de Thorne et *al.* ont été inspirés d'une question posée par Sagan à Thorne pour connaître un moyen physiquement licite de voyager très rapidement aux confins de l'espace.

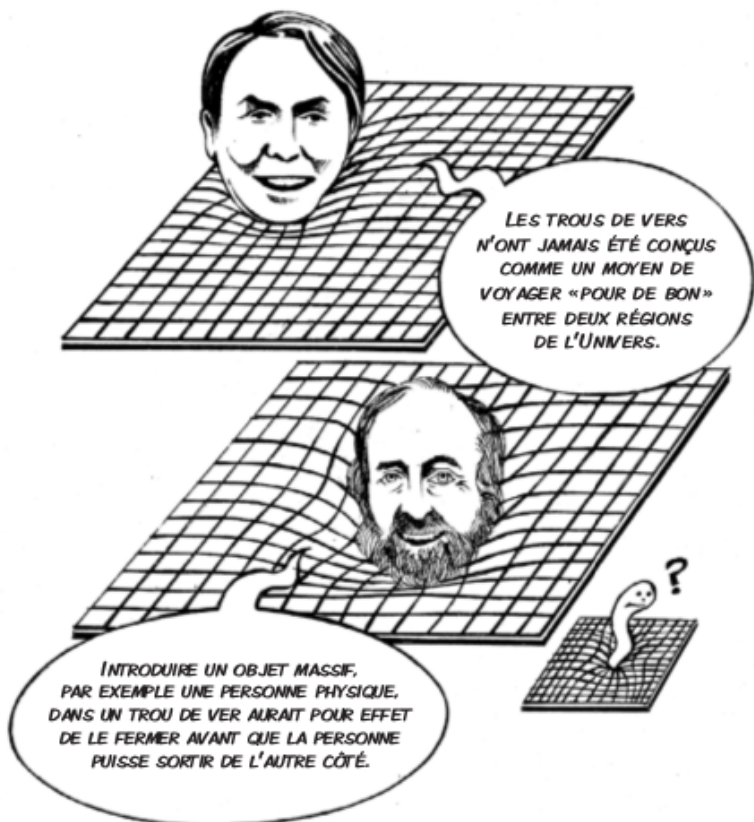
Le concept principal ici en est simple. Le trou de ver est un tunnel, constitué d'espace-temps qui relie deux points différents dans cet espace-temps. Une fois de plus, on peut imaginer l'espace-temps sous forme d'une feuille de caoutchouc; on voit qu'un objet très massif que l'on pose sur la feuille va former un long entonnoir dans cet espace-temps. Si maintenant le bout de l'entonnoir est ouvert et raccordé à un second espace-temps, nous aurions notre trou de ver. Ainsi, le tunnel créé devient un raccourci, un «pont» entre deux points différents.



CELA POURRAIT
DONNER DES RACCOURCIS ENTRE
DEUX ENDROITS DIFFÉRENTS.
CE QUE VOULAIT SAGAN POUR SON ROMAN,
MAIS CELA POURRAIT AUSSI CONNECTER
DEUX TEMPS DIFFÉRENTS.

Les trous de vers ne permettent peut-être pas les voyages dans le temps

Cette possibilité d'avoir des trous de vers est connue presque depuis le début des travaux sur la relativité générale. Cependant, puisque la gravité est une *force d'attraction*, elle voudra toujours fermer l'entonnoir.



Le progrès réalisé par Thorne et *al.* réside dans la spéculation que l'on pourrait ouvrir un trou de ver, le maintenir ouvert suffisamment longtemps pour qu'une personne l'emprunte et sorte effectivement plus loin. Le groupe de chercheurs, qui s'appelle le *Consortium* (animé par Thorne et Novikow), a également entrepris des investigations pour déterminer à quel point ces scénarios sont cohérents (ou non).

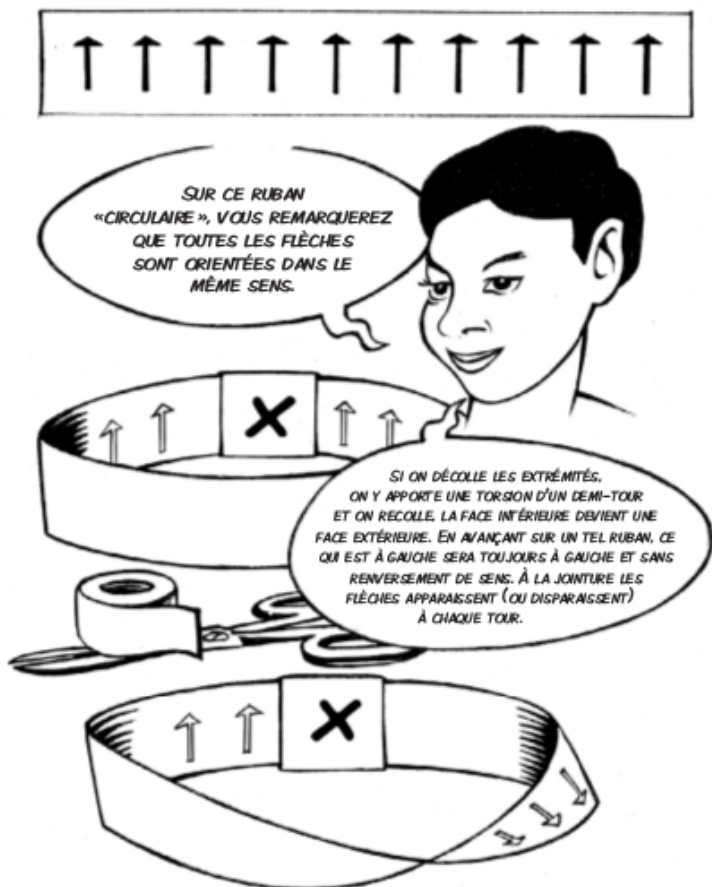
Nous avons noté plus tôt que la relativité autorise une variété de méthodes pour voyager dans le temps. Un théorème du physicien Stephen Hawking, de Cambridge, contredit les résultats ci-dessus. Cela va de soi qu'il n'y ait pas de réel danger de voir changer le cours de l'histoire et de ses événements. Selon Hawking, la relativité générale – en y ajoutant quelques suppositions raisonnables quant à la manière dont la matière et l'énergie sont réparties – est telle qu'elle interdit les voyages dans le temps.



D'intéressants théorèmes de cet ordre sont difficiles et donc rares. Aussi, pour l'heure, il incombe plus logiquement à Hawking et à d'autres opposants aux voyages dans le temps de démontrer que de tels voyages ne sont pas possibles, qu'à d'autres de démontrer le contraire.

Des possibilités exotiques pour l'entité 'temps'

Voyager dans le temps - curieux déjà comme concept - n'est pas la seule possibilité temporelle autorisée par des 'espaces-temps relativistes'. Examinons-en quelques-unes, à commencer par celle d'un temps «non orientable». Par analogie, on prend un ruban de papier sur lequel on va dessiner des flèches (sur la même face du ruban et orientées dans un même sens); ensuite on colle les deux extrémités créant un cercle avec toutes les flèches sur la même face (soit extérieure, soit intérieure, comme ici) du cercle. La jonction est marquée par X.



Cette fois, en avançant sur la surface de ruban, vous allez passer la « jointure ». Si vous avanciez sur des flèches, vous passez sur la partie sans flèches (ou inversement). Dans l'absolu la surface continue sans limite, même si on « passe » de la face intérieure à l'extérieur du ruban d'origine.



Et cela se produit sans tricher. Pas de déchirure, pas de bosse, pas d'effet élastique (nous supposons avoir reçu le ruban tel quel, « joint par les deux bouts » et avec la torsion indiquée ; il s'appelle le *ruban de Möbius*, ainsi nommé pour honorer la mémoire d'un astronome et mathématicien allemand, **Auguste Ferdinand Möbius** (1790–1868)⁴². On peut noter que ce ruban possède des caractéristiques amusantes – d'abord, il n'y a qu'une seule surface, de même qu'il n'y qu'un seul bord et enfin si on le coupe « en deux » dans le sens de la longueur, on n'a toujours qu'un ruban !

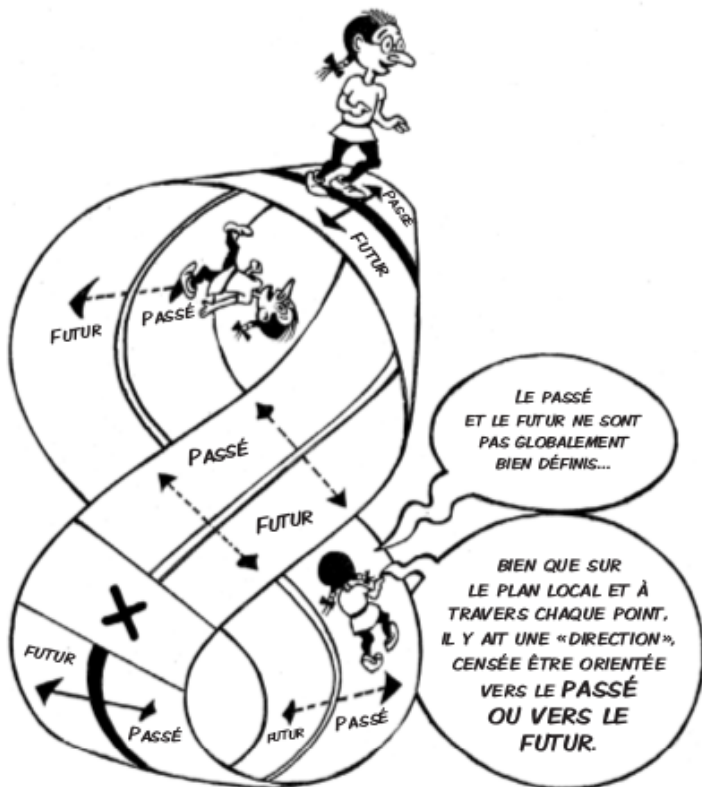
La torsion de Möbius dans l'espace

Si l'espace-temps était réellement non orientable dans l'espace, la conséquence serait que vous pourriez quitter la Terre à bord d'un vaisseau spatial, empruntant une route tracée sur une surface de Möbius et ne pouvoir « revoir » la Terre qu'après deux tours, car après un seul tour le vaisseau se trouverait « à l'intérieur » de la figure. Si le copilote (assis au siège de droite) tend la main droite (sa main pointe vers la droite) et s'éloigne de nous qui sommes restés sur Terre, le vaisseau en bouclant le premier tour de Möbius, fait demi-tour et pointe (pour nous) à gauche, mais en fait à bord du vaisseau, rien n'est changé. De même pour les autres membres de l'équipage à bord – leur drapeau pointe à droite à l'aller comme au retour.



La torsion de Möbius dans le temps

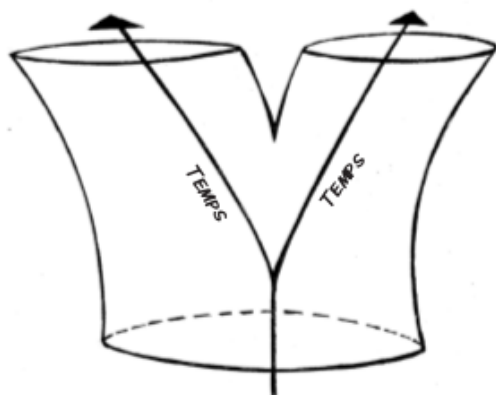
L'espace-temps, est aussi - peut-être - non orientable *dans le temps*. Pensez un instant aux flèches sur le ruban de Möbius. On peut leur attribuer un sens, celui d'indiquer la « direction » vers le futur proche (celle, pour donner une image, qui suit l'éclosion et la pousse d'un gland pour devenir un chêne ou un enfant qui grandit en vieillissant). Puis, à un moment donné, le futur et le passé changent de place, un peu comme la frontière sur la surface du ruban où les flèches s'arrêtent mais on les perçoit encore si le ruban est translucide.



Encore une fois, cela est très étrange, mais possible. Et, étant donné que le ruban de Möbius est intrinsèquement courbé - mais le papier n'est nullement étiré ni rétréci -, nous voyons que cette caractéristique est possible même dans des espace-temps non courbés.

Des branchements dans le temps

Nous pouvons nous intéresser, à présent, à une autre idée selon laquelle le temps peut se *diviser en branches*. Cette idée avance que l'espace peut se diviser en deux parties (ou plus) et que le temps gravite chacun des «branchements» ...



Nous n'aurions alors plus qu'une ligne du temps (même si on ne tient pas compte des considérations relativistes).

L'espace s'arrête-t-il quelque part ?

Le grand philosophe français **René Descartes** (1596–1650) avait estimé cela impossible. Tout comme certains philosophes grecs avant Socrate, il pensait que cela n'avait pas de sens de parler d'un espace fini.



Sa déduction était que l'espace est infini, sans bords ni bornes, en un mot l'espace ne peut être fini. Mais la « finitude » spatiale, à son tour, nous suggère que l'espace doit constituer une entité indivisible, car si l'espace est effectivement infini (sans bornes), pensait Descartes, il n'y aurait aucune place pour y loger un autre espace qui ne faisait pas déjà partie intégrante du premier.

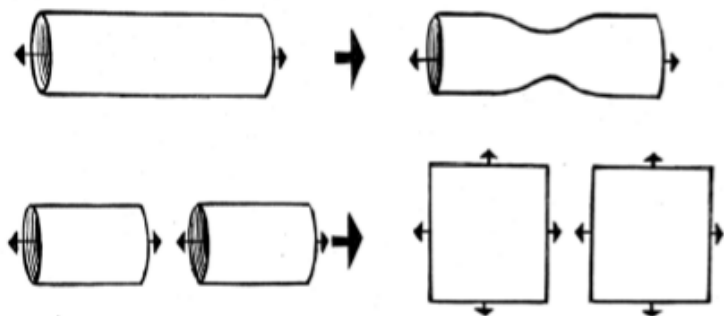
Un espace « fini sans bornes »

Aucune des déductions de Descartes n'est défendable dans la relativité générale. Dans la mesure où l'espace peut se courber, il est possible qu'il soit sphérique, comme un ballon. Nous savons ainsi que l'espace peut s'étendre sans limites et, cependant, être fini : un ballon de basket est fini, mais une fourmi qui explore sa surface ne va jamais heurter un mur, ni trouver un bord ou une borne.





Il est même possible d'avoir des espaces infinis qui, comme notre cylindre d'espace-temps plus tôt, se divisent en deux plans infinis. Nul besoin de voir ces espaces se logeant dans un espace plus vaste qui les accueilleraient, car, comme nous l'avons déjà noté, nous n'avons pas besoin de voir un espace-temps qui occupe nécessairement un espace avec un nombre supérieur de dimensions spatiales.



Il s'ensuit que l'espace ne doit pas obligatoirement être une seule entité et qu'il est possible que le temps puisse avoir des branchements (même si la relativité émet de sérieuses restrictions sur ce qui est permis ou pas).

Le théorème de Geroch

Avant de quitter ce sujet, arrêtons-nous un instant sur un lien intéressant qui unit les voyages dans le temps, le temps avec des branchements et la non-orientabilité. **Robert Geroch**⁴³ (né en 1942), physicien à Chicago, a démontré en 1967 que si la « topologie de l'espace » change avec le temps – ce qui, en résumé pour les besoins de notre exposé, a lieu quand l'espace se divise et donc quand le temps connaît un branchement –, alors l'espace-temps (s'il est fermé mais sans bords, comme l'espace-temps sphérique évoqué ci-dessus) doit aussi posséder des trajectoires autorisant les voyages dans le temps ou qui sont non orientables dans le temps.



Le retour éternel

Une autre possibilité est celle du retour éternel – l'idée que chaque état du monde puisse revenir un nombre infini de fois. Cette idée remonte, une fois de plus, au temps des philosophes d'avant Socrate, mais elle a été rendue célèbre par le philosophe et moraliste allemand **Friedrich Nietzsche** (1844–1900).



C'est d'ailleurs presque ce qui est arrivé à Bill Murray dans le film hollywoodien *Groundhog Day* [*Un jour sans fin*, en VF] (1993). Le comédien, cinéaste et réalisateur Woody Allen a remarqué, à propos de cette théorie, que si elle était avérée, il regrettait amèrement avoir regardé les *Ice Capades* (un spectacle sur glace américain dont la valeur de divertissement à la fin⁴⁴ était sujet à controverse).

Un voyage vers le Big Bang

Une théorie de retour éternel est-elle plausible, en l'état actuel de nos connaissances ? La réponse, quoique quasi inaudible, est « oui ». Les physiciens britanniques **Roger Penrose**⁴⁵ (né en 1931) et Stephen Hawking ont démontré dans les années 1960 et 1970 que dans un monde relativiste comme le nôtre, la matière et l'énergie ont dû connaître des densités de plus en plus grandes, si on remonte dans un passé cosmologique. À un certain point dans le temps, les trajectoires possibles pour un voyageur s'épuisent. On en déduit, en termes généraux, que cela démontre l'existence d'un point, appelé *singularité*, où la matière et l'énergie étaient à ce point concentrées que les forces en présence devaient être infinies, et donc le point lui-même serait mal défini.

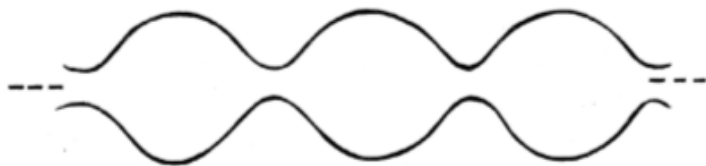


La pertinence du « Big Bang » est telle qu'elle devrait éliminer *ipso facto* la possibilité d'un retour éternel. Si notre Univers est âgé d'environ 12 à 15 milliards d'années et a connu son commencement au moment du « Big Bang », alors le recyclage n'a pas (encore) été infiniment long. Mais il est à noter que les théorèmes de la singularité n'éliminent pas d'office la possibilité de retours éternels.



Une objection d'ordre philosophique

Le temps serait défini pour passer d'une phase de l'Univers vers une autre, comme une sorte d'univers en « chapelets de saucisses ».



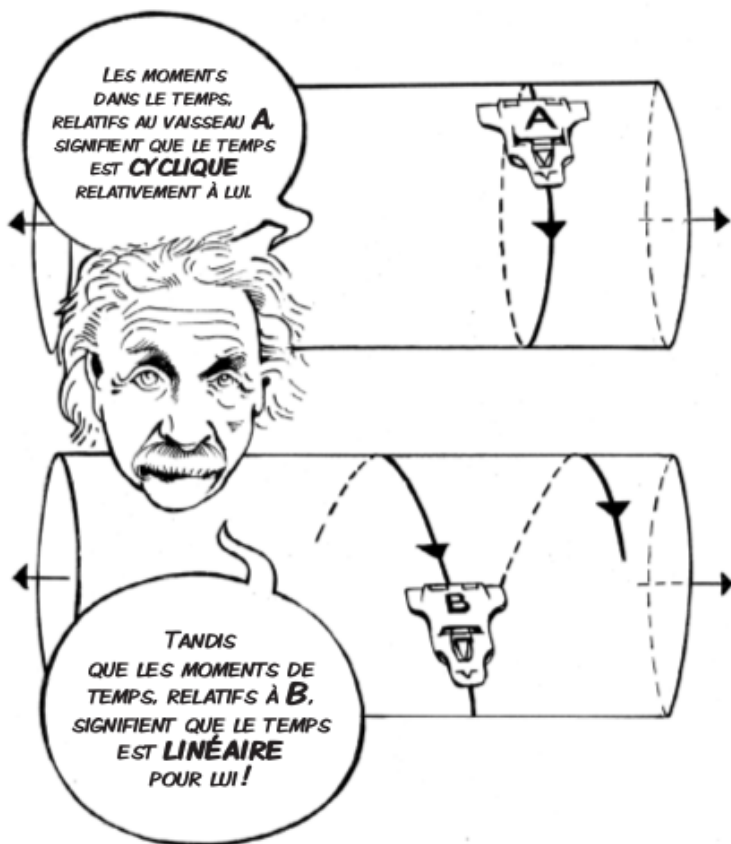
Il existe, bien sûr, une objection d'ordre philosophique et simple à cette idée d'un retour éternel. Reconsidérons ce qu'en a dit Nietzsche, puis voyons comme cela peut être *perçu*.



Aujourd'hui, des physiciens réfléchissent prospectivement à l'existence d'autres espaces-temps similaires, au sein desquels les phases répétées ne seraient pas toutes identiques.

Le temps, est-il ouvert ou fermé ?

Le temps, à notre avis, peut soit être ouvert (linéaire), soit fermé (cyclique). Mais cela vaut la peine, pensons-nous, de faire remarquer que dans la relativité, cette distinction est faite par rapport à l'observateur. Notre « ami utile », l'espace-temps en forme de cylindre, peut nous aider à illustrer cela. Prenons deux vaisseaux spatiaux, **A** et **B**.



Selon l'observateur, le même espace-temps pourrait accommoder un temps infiniment long ou un temps fermé, clos. Encore une fois, c'est une question de perception.

Pour résumer notre propos, jusqu'ici...

Nous avons examiné un certain nombre de propriétés étranges que pourrait posséder le temps et la question de savoir si les lois de la Nature les autorisent ou non. La relativité générale, apparemment – et c'est en cela surprenant –, les autorise toutes ; de plus, elle en ajoute quelques-unes que nous n'avions pas prévues.



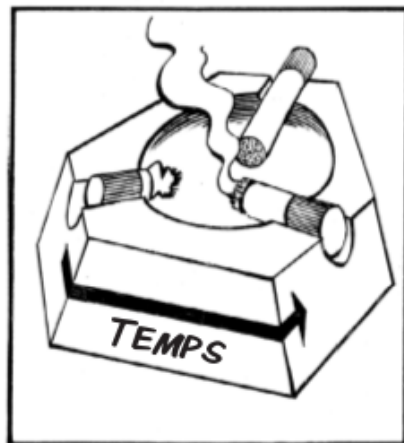
À présent, nous pouvons délaissier la relativité et l'espace-temps pour nous concentrer sur le contenu matériel de notre Univers et son rapport à la flèche (le sens) du temps.

La flèche du temps

Dans son roman *Counter-Clock World* [*À rebrousse-temps*⁴⁶] (1967), **Philip K. Dickens** décrit le moment, en 1986, où la flèche du temps s'inverse, plaçant la Terre dans ce que ses habitants appellent la « phase Hobart », devant son nom à un scientifique qui avait prédit que la flèche du temps pourrait changer de sens. Une **phase Hobart** désigne une période où de nombreux processus ont lieu en sens inverse.



Pendant ce temps particulier, les morts appellent depuis leur tombe et demandent à être exhumés. Les gens nettoient leurs poumons en « fumant » des mégots qui s'agrandissent graduellement pour devenir des cigarettes entières, non brûlées. Le café au lait se sépare en café noir d'un côté et en lait de l'autre, etc.



Des processus irréversibles

Bien que possibles dans des œuvres de fiction, de telles inversions de la flèche du temps ne semblent pas se produire dans le monde réel. Les phénomènes de la Nature se comportent de façon asymétrique par rapport au temps.



Invariante face à l'inversion du temps

Il n'en demeure pas moins que ces étranges inversions de phénomène pourraient se produire. Les lois fondamentales de la Nature sont insensibles au sens, vers le futur ou vers le passé, du temps. C'est étonnant, mais ce n'est pas contraire aux lois fondamentales de la physique que de prédire que le lait peut se séparer spontanément du café (au lait), ou que l'air dans une pièce peut se concentrer spontanément dans un coin.

Regardons ces deux images 1 et 2 :

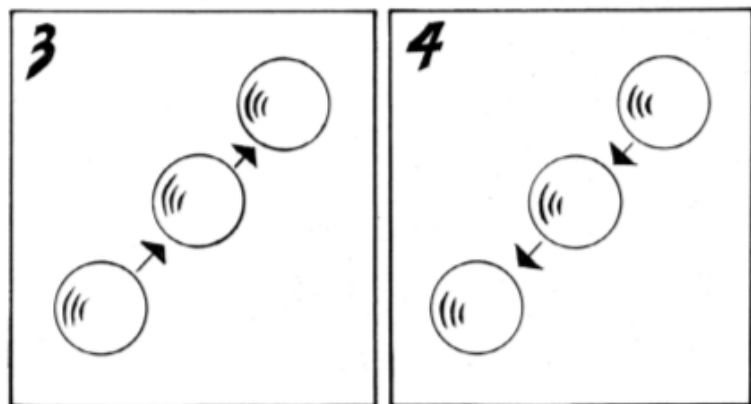


Avant même de dire quel est l'ordre des événements, nous savons parfaitement quelle image est antérieure à l'autre.

Voir « oui », mais du point de vue des particules

Regardons à nouveau ces scènes, non pas avec nos yeux mais au travers d'un microscope à faisceaux d'électrons, en nous focalisant sur le (petit) groupe de particules dans le magasin de porcelaine.

La nature directionnelle de la scène disparaît. Si nous considérons ces particules comme autant de minuscules billes de billard soumises aux lois de la mécanique newtonienne, nous apercevrons que certaines entrent en collision dans un sens, d'autres dans le sens opposé. Il n'existe pas de moyen, uniquement en regardant les scènes, de déterminer laquelle des deux images a été prise en premier.



Les deux ordres, la scène 3 suivie de la 4 ou la 4 suivie de la 3, sont l'un et l'autre tout à fait licites, selon les lois de Newton. Mais ils sont tout aussi acceptables si l'on considère de nombreuses interprétations de la *physique quantique*, qui a remplacé la physique newtonienne au XX^e siècle.

Si nous filmons ces particules, puis repassons le film à l'envers, les séquences inversées montreraient un phénomène permis par les lois de la physique. C'est ce que nous appelons l'invariante face à l'hypothèse d'inversion du temps.

Ainsi, du point de vue de la physique fondamentale, il est possible que tous les morceaux de porcelaine éparpillés dans le magasin se remettent en place, s'assemblent, tandis que le taureau quitte le magasin à reculons.



Bien entendu, rien de cela ne se passe ainsi, mais peut-être pourrions-nous nous demander « pourquoi ». Cela ne constitue pas encore un problème répertorié, officiel, dans la mesure où beaucoup de choses possibles n'arrivent pas. C'est possible, par exemple, du point de vue de la physique qu'un joueur de basket ne manque jamais un panier de toute sa vie. Mais ne nous tracassons pas pour voir *pourquoi* cela n'arrive jamais. Pour être confrontés à une vraie difficulté, nous avons besoin de davantage de science.


La science de la chaleur

Le XVIII^e siècle a vu se développer une nouvelle science, la **thermodynamique**, c'est-à-dire la science de la chaleur. Au départ, elle traitait de la théorie qui sous-tendait la construction de *machines à vapeur de plus en plus efficaces*. Les processus thermodynamiques comprenaient le phénomène du transfert spontané de la chaleur depuis un corps plus chaud vers un corps plus froid. Si vous placez un objet chaud à côté d'un objet froid, celui qui est chaud va perdre de la chaleur en la transférant vers l'objet froid et celui-ci va, par conséquent, chauffer. Une tasse de café chaud dans une pièce à température ambiante va graduellement refroidir et la pièce va se réchauffer, mais peu il est vrai.



En fait, vous n'avez pas besoin de vous saisir de la chaleur pour la déplacer. Elle se déplace (quelle qu'en soit sa « substance ») tout seule. Et quand la température des deux objets est identique, le transfert s'arrête tout aussi spontanément, puisqu'il y a un état d'équilibre.

Un autre processus thermodynamique bien connu est l'expansion spontanée d'un gaz pour remplir le « volume disponible », c'est-à-dire l'espace qui entoure un gaz et dans lequel celui-ci peut se répandre. Si quelqu'un entre dans une pièce avec une bouteille de chlore (gaz mortel), la dépose dans un coin et l'ouvre, nous saurions vite nous en éloigner !



*NOUS SAVONS
QUE LE CHLORE,
S'IL EN A L'OPPORTUNITÉ,
VA QUITTER LA BOUTEILLE
ET SE RÉPANDRE
RAPIDEMENT DANS
TOUTE LA PIÈCE.*

*NOUS SAVONS,
EN RÈGLE GÉNÉRALE,
QUE LES GAZ VONT OCCUPER
TOUT LE VOLUME DISPONIBLE
JUSQU'À CE QU'UN ÉQUILIBRE
DE DIFFUSION S'INSTALLE.*

Les processus spontanés

Comme nous l'avons vu au travers de ces exemples, la thermodynamique traite souvent de phénomènes asymétriques dans le temps. La chaleur, dans un système fermé, va spontanément du chaud vers le froid, jamais du froid vers le chaud. Le gaz s'étend spontanément pour occuper le volume disponible et ne se reconcentre jamais spontanément. De même, dans un système fermé et à température ambiante, des glaçons vont fondre spontanément mais leurs flaques ne se remettent jamais en glaçons-cubes.



Mais en fait, ici, on triche, car le système et le cycle de réfrigération ne sont pas fermés ; ils tirent leur énergie d'une source extérieure de façon à modifier, c'est-à-dire en y introduisant du travail w , au sens physique, l'état du système. Et pourtant, la fonte des glaçons se produit sans l'apport de travail.

Le principe d'entropie

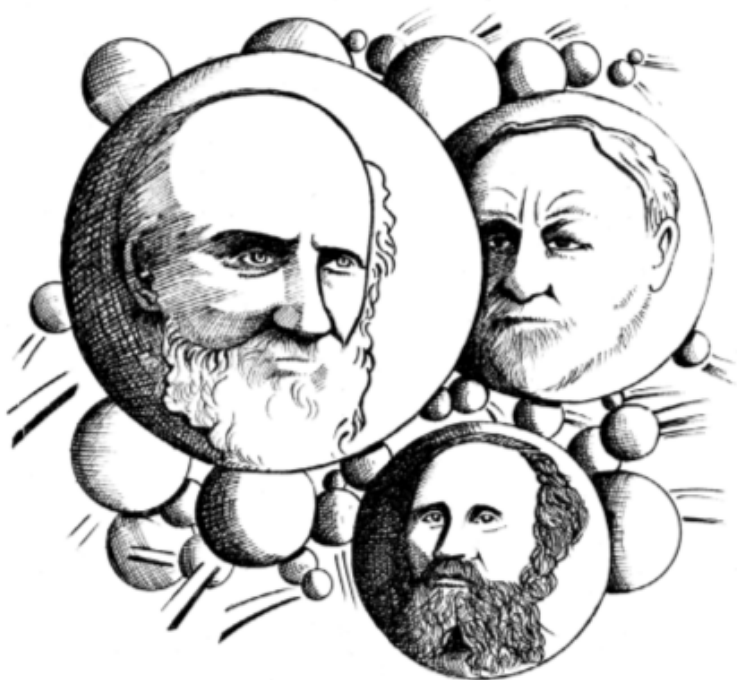
Afin de décrire correctement tous ces processus asymétriques, la thermodynamique inclut un second principe ⁴⁷ dit d'entropie, basé sur les travaux du physicien et ingénieur militaire **Sadi Carnot** (1796–1832). La formulation et le mot ⁴⁸ comme loi mathématique sont dus – après plusieurs rédactions de mises au point – au physicien allemand **Rudolf Clausius** (1822–1888) qui énonce que l'entropie d'un système fermé ne peut que croître avec le temps ⁴⁹.



Ce qui est important, pour nous, c'est que l'entropie augmente quand les processus suivent le même ordre que dans la vie réelle et diminuerait s'ils prenaient le sens inverse. Le second principe élimine donc les processus bizarroïdes de l'inversion. CQFD, pour la possibilité de l'inverse, si vous êtes d'accord.

La problématique des particules newtoniennes (le retour)

« Non », l'inversion n'est pas pour autant totalement exclue. Le problème provient du fait que les glaçons, les corps chauds et les gaz sont constitués de particules régies par les lois de Newton. Pour résumer, ils sont constitués de champs quantiques, mais nous pouvons ignorer cette « complexification ». Pour notre exposé, disons que les gaz, les corps chauds et les glaçons *ne sont rien d'autres* que des particules newtoniennes qui se déplacent.



Si la physique de Newton énonce que des mouvements inverses sont possibles, alors les déplacements inverses que nous avons vu interdits par le second principe de la thermodynamique seraient *ipso facto* possibles. Le second principe ne peut pas être vérifié à 100 %.

Comment, dans ce cas, expliquer l'existence d'un comportement thermodynamique des particules newtoniennes ?

La mécanique statistique

Et voici qu'arrivent sur scène les grands physiciens, entre autres, **Lord Kelvin** (précédemment **Sir William Thomson**⁶¹) (1824–1907), **James Clerk Maxwell** (1831–1879), **Ludwig Boltzmann** (1844–1906) et **J. Willard Gibbs** (1839–1903). La discipline qu'ils ont inventée a pour nom mécanique statistique. Elle se justifie par de petits écarts des valeurs attendues en termes de thermodynamique dans de minuscules systèmes.

Le principal éclairage que l'on trouve dans l'explication statistique du second principe peut s'illustrer facilement. Imaginons que nous disposons de deux boîtes, A et B, et de 20 billes de billard, numérotées de 1 à 20.



A

B

*PENSEZ AUX
NOMBREUSES FAÇONS DE
DISTRIBUER LES BILLES DANS
LES DEUX BOÎTES.*

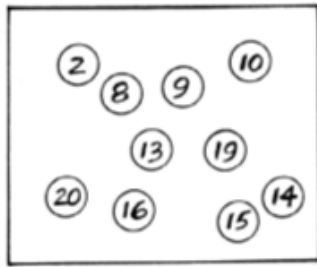
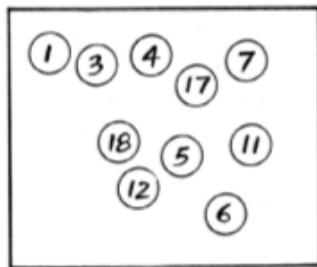
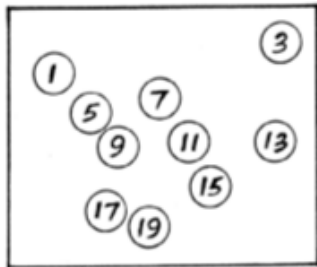
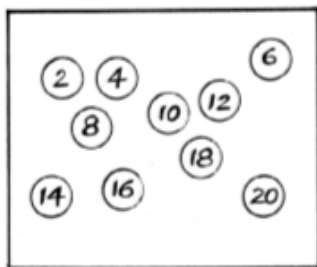
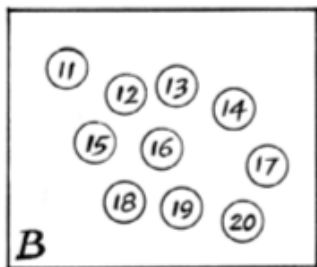
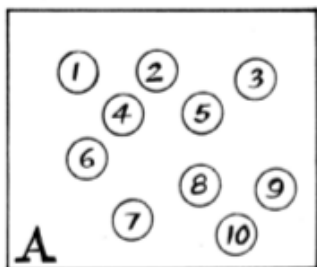
*NOUS POURRIONS,
PAR EXEMPLE, METTRE
LES 20 BILLES DANS **A**
ET AUCUNE DANS **B**,
OU INVERSEMENT...*

*OU NOUS POUVONS
METTRE LES BILLES 1, 7, 13
ET 20 DANS **A** ET LES
16 AUTRES DANS **B**.*

L'asymétrie statistique

Boltzmann a fait remarquer une asymétrie intéressante. Il y a bien plus de façons de répartir les billes de manière égale qu'inégale entre les deux boîtes. Par exemple, il n'y a qu'une façon de mettre toutes les billes en **A** et aucune en **B** et inversement. Mais il y a 15 000 façons de mettre 5 billes en **A** et 15 en **B** (billes 1 à 5 dans **A** et les 15 autres dans **B**; ou les billes 3, 4, 13, 16, 18 dans **A** et les 15 autres dans **B**...).

*Et il y a plus de 180 000 façons de mettre 10 billes en **A** et 10 billes en **B**!*



:

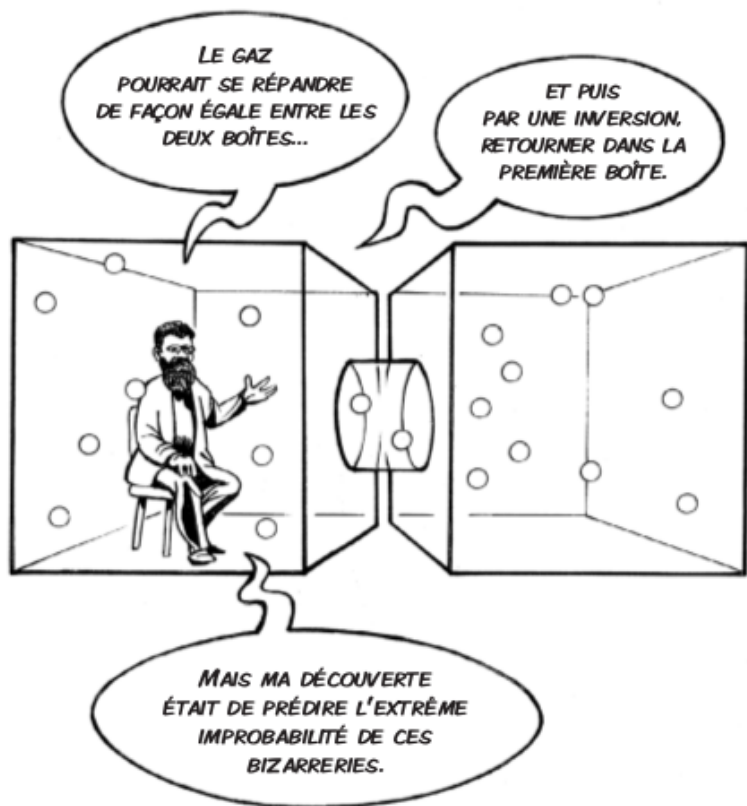
:

Si nous pensions que chaque répartition était équiprobable, alors ce serait extrêmement probable que les billes soient réparties 10-10, 9-11 ou 11-9, et extrêmement improbable (probabilité 0,000 001) que la répartition soit 0-20 ou 20-0.



L'inversion d'état, est-ce probable ?

Reprenons notre exemple de gaz – qui peut être contenu dans l'une ou l'autre des deux boîtes. Newton nous enseigne que le gaz peut parfaitement rester dans une seule boîte, quand bien même on retire la cloison qui la sépare de l'autre boîte.



Le lien avec la thermodynamique devrait à présent être évident. Les distributions d'équilibre, disons 10-10, 9-11, 11-9, 8-12, 12-8, sont les plus probables. Les distributions hors d'équilibre sont improbables. Les inversions en physique newtonienne sont possibles, concède Boltzmann, tout comme une distribution 20-0, quoique très, très invraisemblable statistiquement.

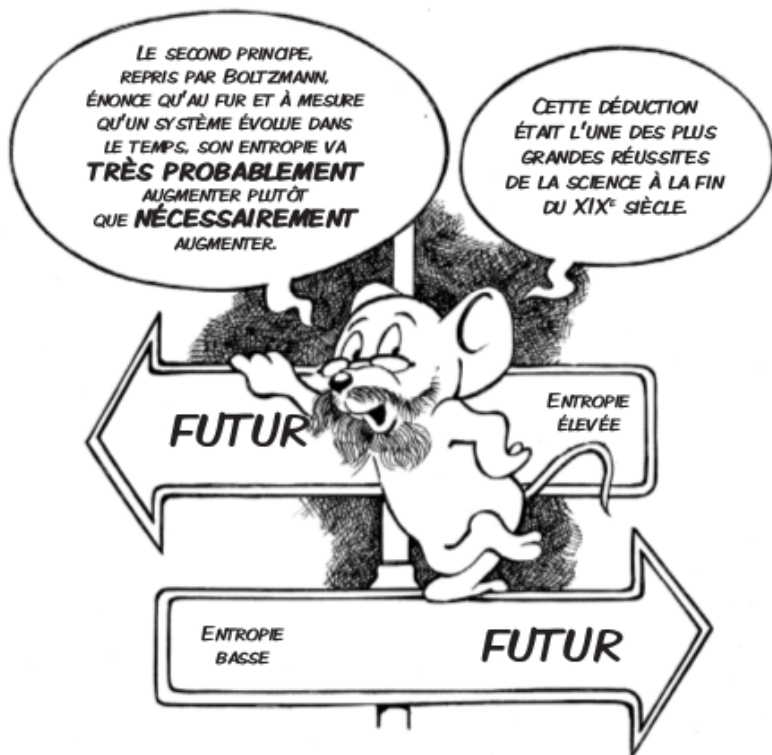
En réalité, c'est « monstrueusement » improbable. Un gaz que l'on observe contient, non pas 20 particules (cf. nos billes), mais 10^{23} particules (vous avez bien lu, 10 suivi de 23 zéros)! La probabilité que les particules de gaz se répartissent de façon égale entre les deux boîtes est étonnamment haute. Et c'est de cette manière cohérente que Boltzmann combine un comportement conforme aux principes de la thermodynamique avec les lois de la physique newtonienne.



Dire que le chlore va rester dans une bouteille ouverte est extrêmement improbable, puisqu'il y a tant d'endroits (ou volumes) où le gaz peut migrer (et occuper l'espace). Pour rester dans la bouteille, cela supposerait des millions de collisions hautement improbables entre molécules. Il en va de même pour les glaçons qui fondent à température ambiante ou quand la chaleur est transférée depuis des corps chauds vers des corps froids, car ce sont les enchaînements de cause à effet les plus probables.

L'état le plus probable de l'entropie

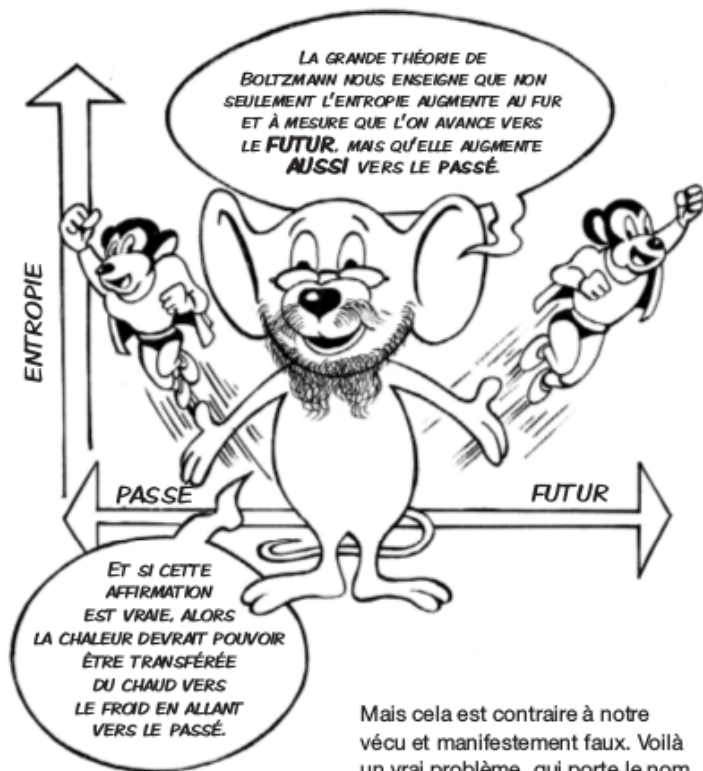
L'entropie est une mesure qui nous indique la probabilité que la matière se trouve dans tel ou tel état. Des états hautement probables, comme la répartition des billes 10-10 entre les deux boîtes, possèdent une entropie élevée, tandis que la répartition 0-20 possède une entropie basse.



Ayant expliqué la théorie et la déduction de Boltzmann, nous devrions nous apercevoir qu'il reste un problème. L'explication qu'il donne du comportement thermodynamique met en œuvre la mécanique newtonienne et *un peu* de mathématiques. Mais cette explication du comportement des particules implique l'invariante par rapport à l'hypothèse d'inversion du temps. Rien dans les démonstrations fournies par Newton ou par Boltzmann n'indique que le sens du comportement le plus probable doit être vers ce que nous appelons «le futur».

Le paradoxe de Loschmidt

À vrai dire, il semblerait possible que nous puissions appliquer l'argument inverse. Si nous avons un état présent improbable – par exemple, l'ouverture récente d'une bouteille contenant du chlore –, il s'ensuit logiquement, de ce qui précède, que les états antérieurs – tout comme les états postérieurs – étaient les plus probables. Mais avec l'identification des états probables comme ceux ayant une entropie élevée; toutefois, cela implique que l'explication de Boltzmann signifie que l'entropie était plus élevée avant l'ouverture de la bouteille.


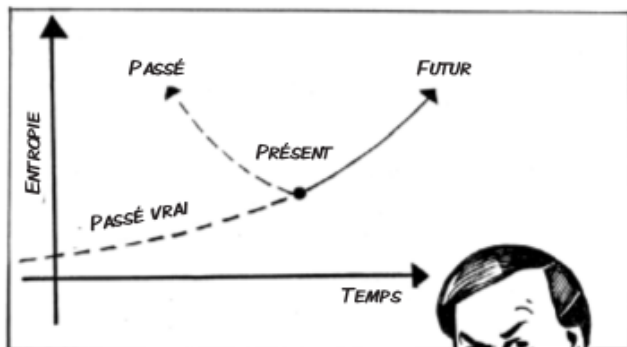


Mais cela est contraire à notre vécu et manifestement faux. Voilà un vrai problème, qui porte le nom du paradoxe de la réversibilité

de Loschmidt – d'après un professeur qui eut Boltzmann comme étudiant, un certain **Josef Loschmidt** (1821–1895), qui, d'ailleurs, avait signalé une conséquence similaire, s'agissant de l'une des tentatives de Boltzmann pour expliquer la flèche du temps.


Dans quels sens l'entropie augmente-t-elle ?

Le mathématicien et physicien Roger Penrose a dessiné le problème de Loschmidt ainsi : la mécanique statistique selon Boltzmann prévoit que l'entropie puisse augmenter dans les deux sens, tandis que notre vécu nous dit que cela n'arrive que dans *un sens* (que nous appelons *le futur*).




MAIS SI ELLE AUGMENTE EN ALLANT VERS LE PASSÉ, NOTRE PASSÉ RESEMBLERAIT À QUELQUE CHOSE SORTI DU ROMAN DE PHILIP K. DICK...

ET NE SERAIT PAS CONFORME À NOS SOUVENIRS.

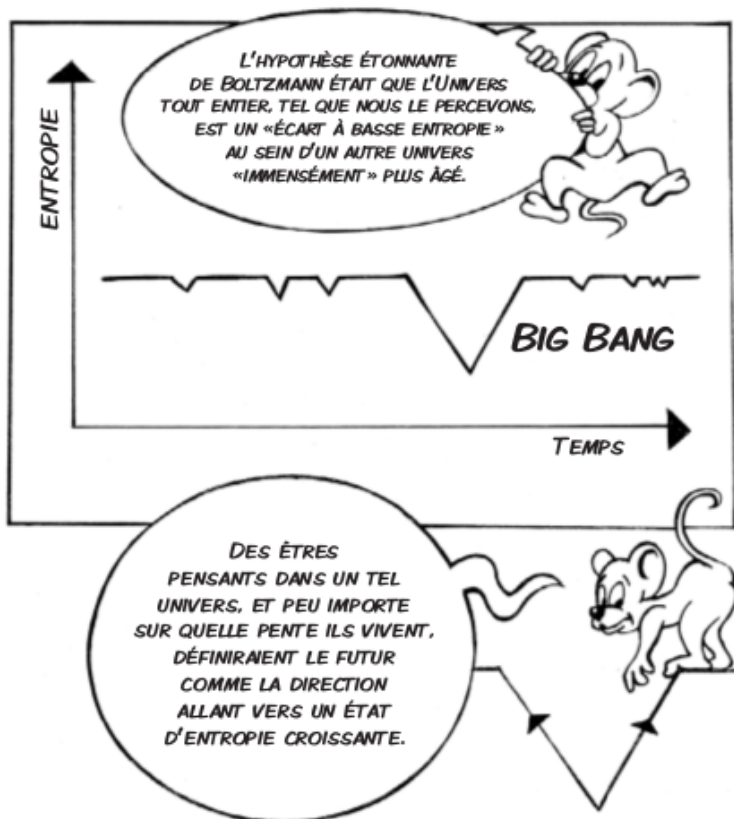


LA PRÉDICTION DE BOLTZMANN EST À LA FOIS TRÈS SURPRENANTE ET MALIGNE.



BIEN QUE DES ÉCARTS SIGNIFICATIFS DE L'ÉTAT D'ÉQUILIBRE SOIENT « MONSTRUEUSEMENT » IMPROBABLES, SI NOUS NOUS RÉFÉRONS À UNE ÉCHELLE DE TEMPS SUFFISAMMENT LONGUE, ILS SE PRODUIRONT INÉVITABLEMENT.

Dans notre jeu avec les deux boîtes et les 20 billes, nous aurons, au bout d'un certain laps de temps, des répartitions à basse entropie, par exemple 5 billes en **A** et 15 en **B**. Il suffit pour cela d'attendre assez longtemps. Quand on prend en compte toutes les particules qui constituent l'Univers – dont le nombre est beaucoup plus élevé que 20 –, nous aurons évidemment à attendre *bien plus longtemps*. Aussi, si l'attente est « infiniment » longue, nous pouvons nous attendre à voir des écarts, même à basse entropie.



Le développement statistique de l'Univers

Boltzmann nous explique pourquoi nous percevons le temps comme allant dans un sens unique. En termes des possibles répartitions des billes entre les deux boîtes, nous savons que si nous démarrons avec un partage 5-15, nous pourrions nous attendre à aller vers 6-14, puis 7-13, 8-12, etc., jusqu'au moment où l'équilibre (10-10) serait atteint. Voilà ce qui se passe dans notre monde. L'Univers n'est qu'un gigantesque jeu à deux boîtes. La plupart du temps, on verra des partages 9-11 et 10-10. Puis, aussi improbable que cela puisse paraître, on passe un jour à 5-15.



Le raisonnement que tient Boltzmann nous enseigne que l'entropie devrait augmenter à partir de ce point initial.



La Terre, en revanche, renvoie beaucoup d'énergie dégradée ⁵² vers le système solaire.

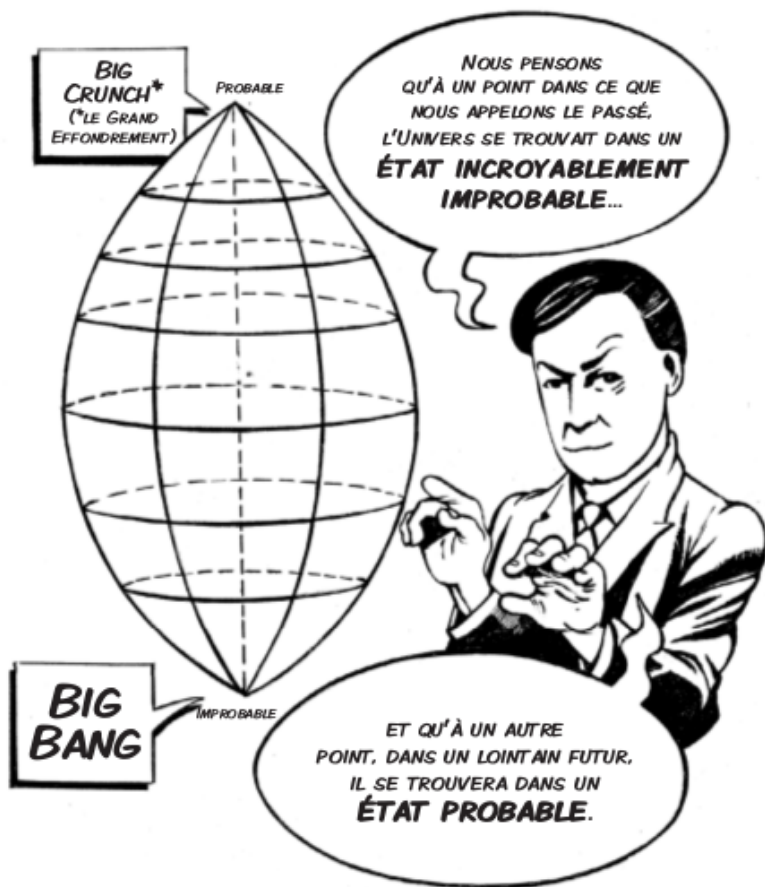
Nous ne nous attendons pas à voir des inversions d'état car celui dans lequel l'Univers se trouve actuellement est déjà hautement improbable. Il est donc encore plus improbable, si je puis dire, qu'il passe dans un état plus improbable.

Les conditions-limites de l'Univers

La suggestion étonnante qu'a émise Boltzmann renferme, en fait, le noyau de ce qui doit constituer la meilleure réponse, à savoir que la seule façon de sortir du dilemme posé est de supposer que *le commencement* de l'Univers tel que nous le percevons – et non *sa fin* – possède une entropie très basse. Aujourd'hui, personne n'admet la totalité de la réponse de Boltzmann. Quand celui-ci a écrit ses équations, il ne disposait pas, de toute évidence, de ce que nous savons de nos jours sur un Big Bang ayant déclenché la création de notre Univers, il y a environ 12 à 15 milliards d'années. À l'heure actuelle, nous pensons que l'Univers que Boltzmann prenait pour un petit écart d'un Univers plus âgé est en fait le seul qui n'ait jamais existé.



Penrose a estimé que cet Univers avait 1 chance sur $(10^{10})^{123}$ d'exister! Nous répondons à Loschmidt en introduisant des conditions-limites asymétriques du facteur temps.



Une hypothèse improbable

Il subsiste encore un problème, cette fois d'ordre philosophique, dans la réponse de Boltzmann et, pour l'aborder, nous comparerons la vraisemblance de deux hypothèses, **H1** et **H2**.

H1 : celle de la vision que défend Boltzmann d'un Univers tout entier dû à un rarissime écart d'un état d'équilibre normal.

H2 : celle d'un Univers – tel que nous l'observons aujourd'hui – qui aurait débuté son existence il y a 10 ans, y compris des traces d'un passé plus long (par exemple nos souvenirs, des squelettes de dinosaures, des formations géologiques d'aspects étranges, etc.).

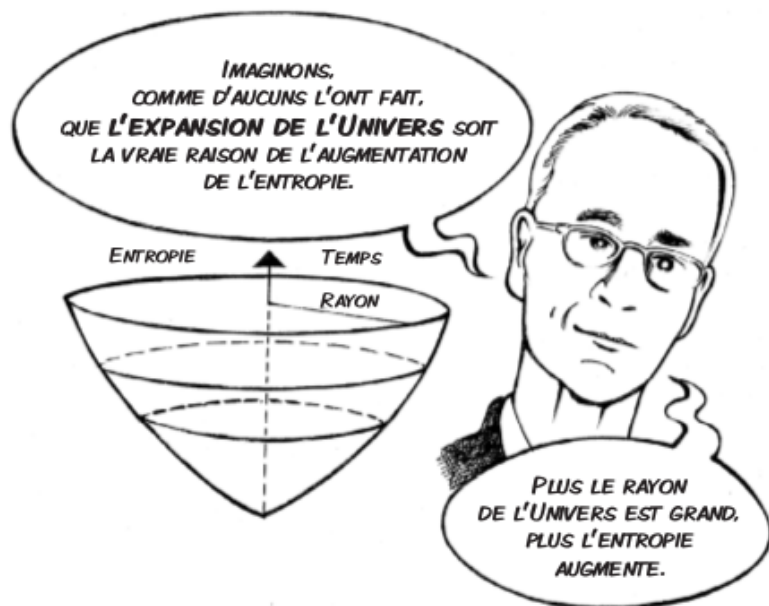


Ainsi, la réponse selon Boltzmann, portée à sa finalité logique, nous procure une situation inconfortable quand elle énonce que l'Univers est arrivé « comme ça », il y a très peu de temps.

À vrai dire, pourquoi l'entropie augmenterait-elle?

Tout le monde n'est pas satisfait face à la vision que suscitent les théories de Boltzmann. Une raison en est la gigantesque improbabilité que notre Univers ait « démarré » dans l'état qu'il décrit. Certains ajoutent qu'il doit y avoir des explications plus acceptables pour le sens de la flèche du temps et pour le point de départ de notre Univers.

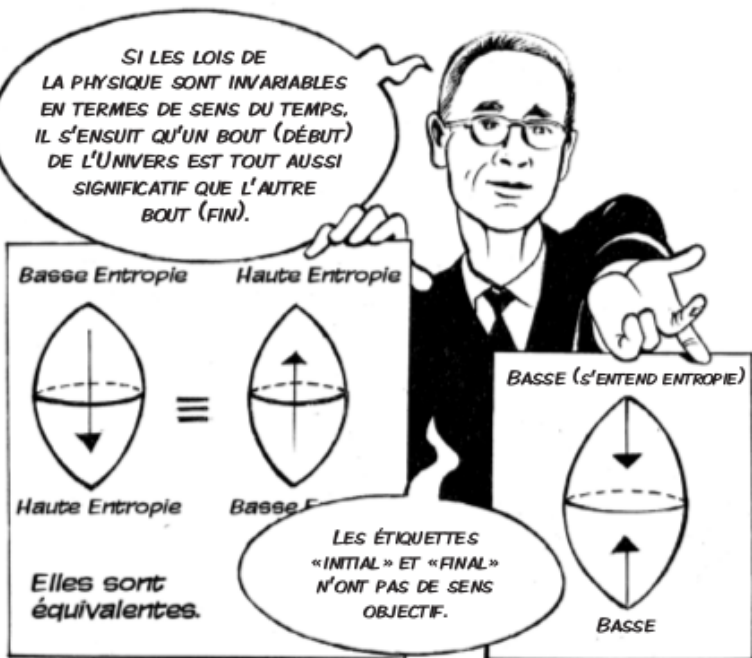
Pour y voir clair, des physiciens et des philosophes ont proposé de nombreuses manières de contourner la difficulté. Mais, la plupart du temps, ils commettent une erreur logique que le philosophe **Huw Price**⁸³ (né en 1953) a appelé « la norme double » du temps.



Supposons aussi, comme il est dit plus haut, que les lois de la physique soient invariables face à une hypothèse d'inversion du temps. Un début de l'Univers à basse entropie s'expliquerait alors par le rayon très réduit de cet Univers au moment du Big Bang et immédiatement après. L'augmentation de l'entropie s'expliquerait alors par l'existence de cette contrainte d'un rayon réduit au commencement et par le manque de cette même contrainte à la fin de l'Univers.

La « norme double » du temps

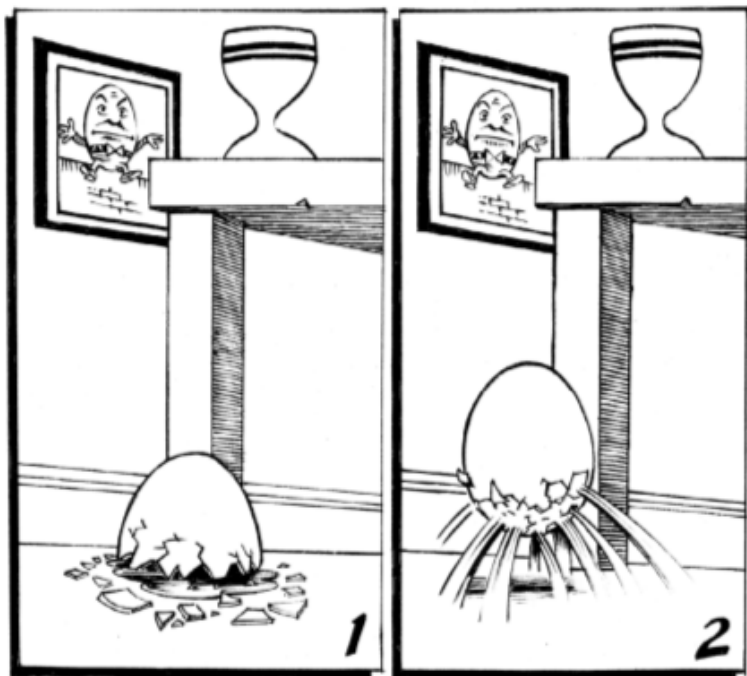
Pour être cohérents, nous devons traiter les deux extrémités de l'Univers (son commencement et sa fin) de la même manière. Si – et c'est la cosmologie qui en suggère la possibilité – nous vivons dans un monde, un univers, qui va se terminer par un Grand Effondrement (le Big Crunch, le contraire du Big Bang), nous serions avisés d'affirmer que l'entropie est basse aussi à l'autre bout (la fin). Dans ce cas, nous poserions comme postulat l'existence d'un monde dans lequel le sens du temps peut s'inverser. Sans ça, nous tomberions dans le piège logique que Price appelle la « norme double » du temps ⁶⁴.



Soit nous expliquons l'état de basse entropie de sorte qu'elle s'applique aux deux extrémités de l'Univers, nous dit Price, soit nous devons y renoncer. Nous ne pouvons affirmer qu'une contrainte s'applique à l'extrémité initiale (le commencement) et pas à l'extrémité finale (fin) si la théorie explorée est invariable en termes d'inversion du temps.

Il n'existe qu'un exemple de « double entendre » qui pollue la littérature sur la flèche du temps. Un exemple courant de cette erreur – et qui existait précédemment – est que le comportement thermodynamique dans une région de l'Univers soumise à une inversion du temps est invraisemblable. Réfléchissez, un instant, aux corrélations « miraculeuses » qui devraient se produire pour que l'inverse de la chute d'un œuf ait lieu.

L'énergie rétablie par le sol devrait être transmise par le plancher avec la répartition spatiale nécessaire, avec des vecteurs parfaitement orientés, pour permettre à tous les fragments de l'œuf cassé de remonter du plancher et se réassembler dans le coquetier.



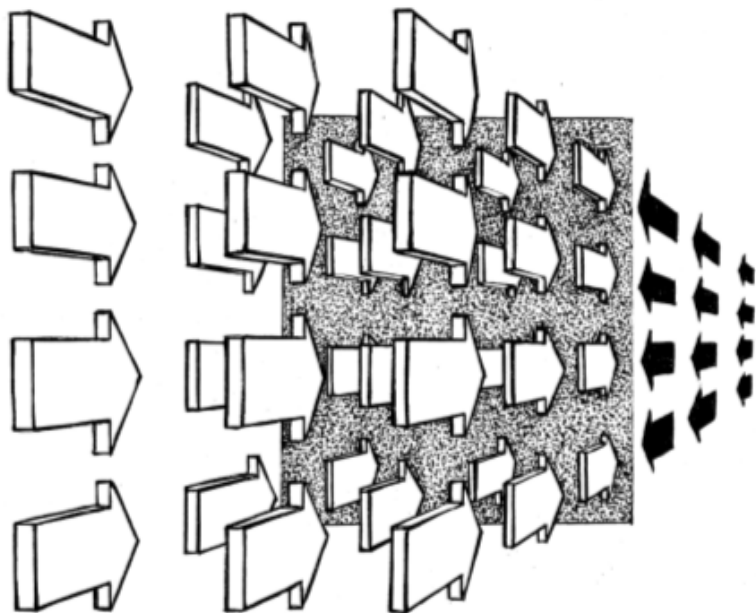
Invraisemblable!

Certes, mais le point important à noter ici est que, dans une perspective d'inversion du temps – parfaitement licite du point de vue des lois de la physique –, de tels comportements invraisemblables ont lieu tout le temps autour de nous.

L'inversion de la flèche du temps

Supposer que l'entropie de l'Univers a été basse dans le passé et qu'elle sera grande dans le futur n'élimine pas la possibilité que la flèche du temps ne puisse s'inverser dans certaines régions de l'Univers. Après tout, il se pourrait qu'une fois le point haut de l'entropie dans le futur atteint, celle-ci s'inverse et prenne la direction d'un nouvel état de basse entropie.

Si le point final (la fin de l'Univers), dans le futur, possède une basse entropie, alors nous devrions nous attendre à ce que l'entropie augmente en partant **des deux extrémités** de l'Univers vers **son centre** (dans le temps, s'entend).



C'est-à-dire, de notre point de vue, que nous devrions nous attendre à ce que le sens du temps s'inverse.

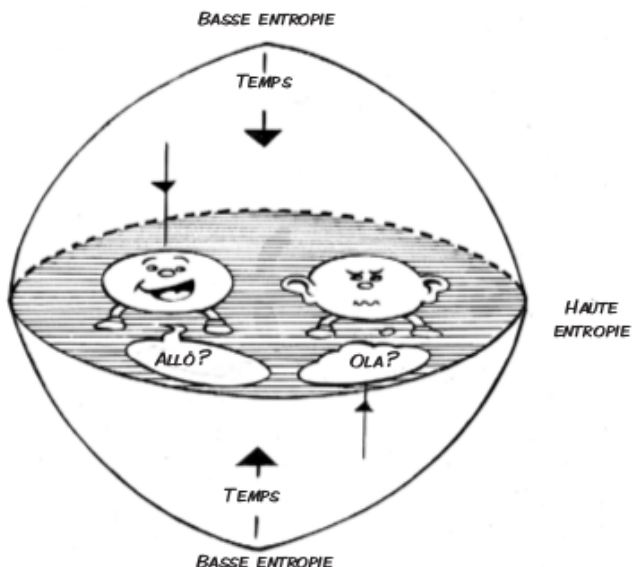
Se demander si cela se passera ainsi n'appelle pas de réponse. Nous ne n'en savons rien, pour la simple raison que nous ignorons quasiment tout de la fin de l'Univers.

Quid de la communication dans un temps inversé ?

De nombreuses questions se posent par rapport à un tel univers, et non des moindres, celle qui s'attache à la possibilité de communiquer avec des personnes vivant « à l'envers », qui évolueraient à partir de ce que nous appelons la fin de l'Univers, notre point final. De nombreux philosophes ou écrivains de science-fiction se sont penchés sur la question. Alors imaginons une race d'êtres vivant dans une galaxie, qui penseraient que ce que nous appelons le Big Crunch (Grand Effondrement) est en fait leur Big Bang, à savoir le commencement de leur univers.

Supposons à présent que notre galaxie « rencontre » cet autre univers vers le milieu de l'espace-temps complet.

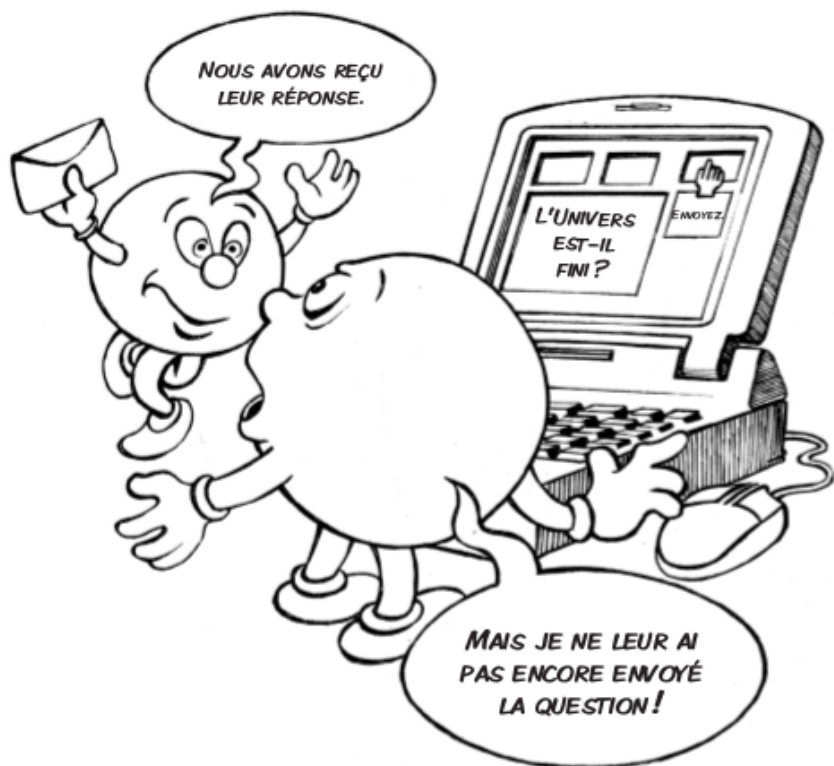
Pourrions-nous communiquer avec ces êtres-là ?



De prime abord, vous pourriez dire « non », dans la mesure où le début de notre message serait sa fin, du point de vue des êtres vivant dans l'autre galaxie. Mais rien n'empêche qu'ils écoutent à l'envers l'enregistrement qu'ils auront fait du message, tout comme le petit jeu connu (par exemple sur des disques des Beatles) qui consistait à écouter certains enregistrements à l'envers, de manière à y trouver des messages « cachés », subliminaux ⁵⁵.

La communication en temps inversé

Mais il y a quelque chose d'encore plus étrange. Si je vous envoie un message à t^1 , demandant aux autres êtres « l'Univers est-il fini ? », ils vont le capter à t^2 . De votre point de vue, t^1 est antérieur à t^2 , de leur point de vue inversé, t^2 est antérieur à t^1 . S'ils répondent à notre question, nous pourrions recevoir la réponse à t^1 , voire plus tôt.



Cela signifie que nous pouvons recevoir la réponse avant même de transmettre la question...

Situation à peu près analogue à ce qui se passait dans notre discussion sur les voyages dans le temps.

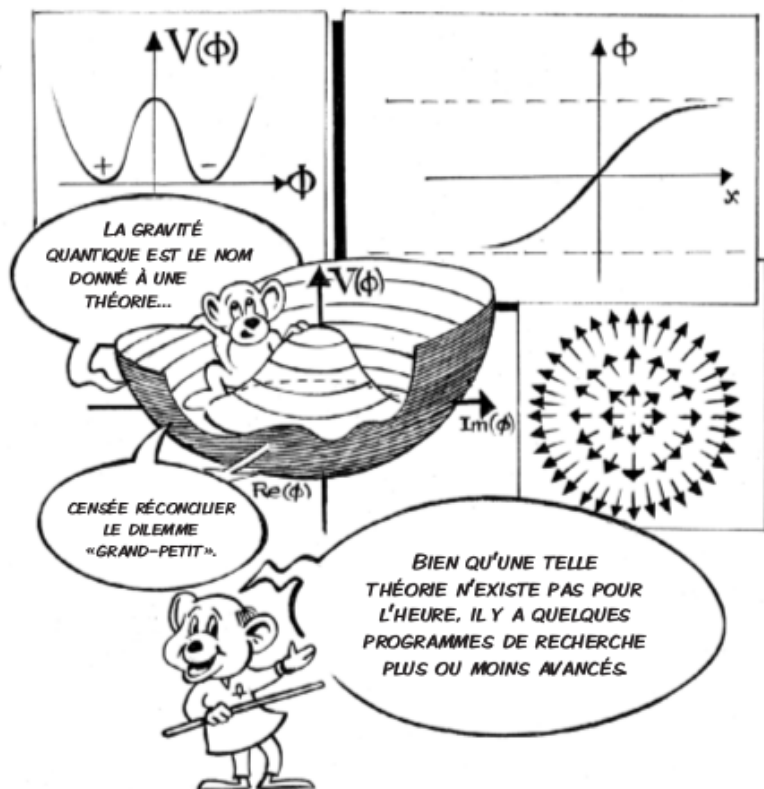
Le philosophe **Murray MacBeath**⁶⁶ avait imaginé des manières très astucieuses de contourner cet obstacle à la communication, qui passaient par des messages retardés. Et l'écrivain de science-fiction **Greg Egan**⁶⁷ a basé une histoire entière sur ce thème...



(Parvenu à ce stade de lecture, votre mal de crâne doit commencer à peu près maintenant...)

La gravité quantique: la fin du temps ?

Durant ces deux dernières décennies, le concept, voire l'existence même du temps, a été battu en brèche sur la base de réflexions qui s'inspirent de la gravité quantique. Il est maintenant largement admis que notre meilleure théorie, *la relativité générale* à dimensions très grandes, entre en conflit avec *la théorie quantique*, qui s'applique à l'infiniment petit.



Deux approches majeures: la théorie des supercordes et la gravité quantique canonique. Nous ne pouvons en donner les détails ici, mais seulement esquisser le «problème du temps» qui empoisonne l'approche standard, canonique.

L'équation Wheeler-DeWitt

Le « problème du temps » dans la gravité quantique canonique se résout facilement: il n'y existe pas ! L'équation principale de cette théorie, dite de **Wheeler-DeWitt**⁶⁸, est dérivée d'une application de la mécanique quantique à la relativité générale. À noter que cette équation ne dépend nullement du facteur temps.



Toutefois, il y a encore bon nombre d'experts qui croient pouvoir corriger l'équation ou sont prêts à s'en accommoder. De plus, puisque la théorie possède, tout de même, certaines vertus à notre avis, il est prématuré de l'abandonner si vite, pour si peu. e dépend nullement du facteur temps.

En guise de conclusion

Il serait tout indiqué que nous terminions ce livre par une discussion sur cette dernière problématique... Non seulement parce qu'elle détaille les plus récentes idées spéculatives sur le concept du temps, mais aussi parce que parmi les réactions sur l'état sans temps prédit par l'équation Wheeler-DeWitt, nous entendons des échos sur à peu près toutes les positions conceptuelles que nous avons analysées jusqu'ici.

D'aucuns (y compris l'auteur de cet ouvrage) vont jusqu'à suggérer que l'on rajoute un facteur de temps externe à cette équation.



Ce **temps externe** ressemble superficiellement (mais on peut y donner une autre interprétation) au **temps absolu** de Newton.

L'horloge parfaite – l'horloge-maître

D'autres experts pensent que la description mathématique ou « formelle » d'une gravité quantique canonique est suffisante et complète, sauf qu'elle cache un autre temps, variable, non encore découvert, pour ainsi dire l'horloge-maître. Ces mêmes experts passent au peigne fin le formalisme à la recherche de quelque chose qui jouerait le rôle du temps, c'est-à-dire une autre horloge qui indiquerait un temps par rapport auquel nous pourrions expliquer les changements observés.



Dans nos tentatives pour découvrir une horloge interne dans ce formalisme, nous parvenons à une vision du temps qui ressemble un peu à celle de Leibniz ou encore de Poincaré.

De l'inexistence du temps


Pour terminer notre tour d'horizon du temps, notons que certains scientifiques, comme le physicien britannique **Julian Barbour** (né en 1937), estiment que cette théorie aide à «sceller la fin du temps». Barbour pense que le formalisme nous fournit un enseignement à portée très significative, à savoir que le temps n'existe pas. Cela nous rappelle les points de vue de McTaggart et de Gödel sur le temps. Et, tout comme pour ceux-là, nous pouvons nous demander...



Peut-être pouvons-nous comprendre que Barbour – à la fois relationniste et conventionnaliste – défende l'idée que le concept «temps» n'existe pas, constituant une entité bien plus frêle que nous ne pouvons l'imaginer (*ni avec les temps, ni temps sans les temps, ni newtonien, ni linéaire, ni même fondamental*).

Un mystère mieux cerné

Le temps constitue autant un mystère pour nous aujourd'hui qu'il l'a été pour saint Augustin. Mais les sciences et la philosophie combinées ont permis de parfaire et d'affûter nos questionnements. Grâce à la mécanique statistique, nous pouvons maintenant formuler correctement la question relative au sens du temps. Et, grâce à la relativité générale et à la science de l'espace-temps, nous pouvons analyser avec rigueur les questions qui portent sur la faisabilité de voyages dans le temps, le branchement du temps et bien d'autres. Enfin, grâce à la philosophie, nous comprenons mieux la « géographie logique » ; nous savons, par exemple, que le temps peut être absolu, relationnel, conventionnel, avec les temps ou sans les temps, voire irréel.



**BIEN QUE LE TEMPS
RESTE ENCORE UN GRAND
MYSTÈRE.**

**NOUS AVONS PROGRESSÉ
DE MANIÈRE CERTAINE
DEPUIS SAINT AUGUSTIN.**

**NOUS SAVONS
MIEUX AUJOURD'HUI
CE QUE NOUS
IGNORONS.**

**LE TEMPS
EST UN MAÎTRE FORMIDABLE:
MALHEUREUSEMENT, IL TUE TOUS
SES ÉLÈVES.**

Lectures recommandées par les auteurs

Les lecteurs intéressés pourront utilement consulter les références bibliographiques suivantes (en anglais, d'autres figurent dans les Notes de rédaction et de traduction *in fine*) :

Sur les horloges, *Revolution in Time* (Viking, 2000) de David Lande, *Longitude* (Fourth Estate, 1996) de Dava Sobel racontent de façon amusante la découverte des horloges Harrison, suffisamment précises pour permettre aux marins de déterminer leur longitude sur les mers du globe.

Pour une histoire philosophique du temps, consulter *Time, Creation and the Continuum* de Richard Sorabji (Londres, Duckworth, 1983).

Pour s'initier à l'**absolutisme**, au **conventionnalisme** et au **rationalisme** : consulter les excellents *The Philosophy of Space and Time* (New York, Dover, 1958), *Space, Time and Spacetime* de Lawrence Sklar (Los Angeles, University of California Press, 1974) et *An Introduction to the Philosophy of Time and Space* de Bas van Fraassen (New York, Columbia University Press, 1985).

Pour approfondir le thème du **temps comme la 4^e dimension**, voir *One, Two, Three... Infinity* de George Gamow (New York, Dover, 1988) et *Geometry, Relativity and the Fourth Dimension*, de Rudy Rucker (New York, Dover, 1977).

Une introduction non technique à la fois précise et sophistiquée à la **relativité générale** se trouve dans *General Relativity from A to B* de Robert Geroch (University of Chicago, 1981).

Quelques excellents textes sur la **philosophie du temps** se trouvent dans *The Philosophy of Time* (New York, Oxford University Press, 1993) ; ils sont signés Robin LePoidevin et Murray MacBeath.

Pour les problématiques du **sens du temps et les enjeux associés**, consulter *Asymmetries in Time* de Paul Horwich (Cambridge, MA-USA, MIT Press, 1987), *Time's Arrow and Archimedes' Point* de Huw Price (New York, Oxford University Press, 1996) et *Time's Arrow Today* (Cambridge UK, Cambridge University Press, 1995).

Nous recommandons la lecture de la discussion de Roger Penrose sur le **second principe de la thermodynamique**, intitulée *The Emperor's New Mind* (Oxford, Oxford University Press, 1989).

Pour **les voyages dans le temps**, il faut absolument se procurer *Time Machines* (New York, Springer-Verlag, 1999, 2^e édition). Cet ouvrage traite de façon distrayante le voyage dans le temps tel qu'il peut exister dans la physique, la métaphysique et la science-fiction, et sa bibliographie est très étendue. Les livres de Horwich et de Savitt y consacrent aussi une bonne analyse.

Pour ce qui concerne les implications de **la gravité quantique sur le temps**, on consultera avec profit *The End of Time* de Julian Barbour (Londres, Phoenix Paperbacks, 1999) et la série *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale* (New York, Cambridge University Press, 2001) de Craig Callender et Nick Nugget.

D'excellentes références se trouvent sur Internet, consulter en particulier l'article « Time » dans The Internet Encyclopedia of Philosophy (<http://www.utm.edu/research/iep/t/time.htm>) et l'article sur les voyages dans le temps et la physique moderne dans The Stanford Encyclopedia of Philosophy (<http://plato.stanford.edu/entries/time-travel-phy>).

Les auteurs

Le professeur Craig Callender a présenté avec succès sa thèse de doctorat en philosophie (PhD) en 1997, à l'université de Rutgers (université d'État du New Jersey, États-Unis) : *Explications relatives à la flèche du temps*. De 1996 à 2000, il a enseigné à la London School of Economics (LSE, université de Londres) au Département de philosophie, logique et méthodologie scientifique, gravissant les échelons pour devenir maître de conférences. Il est à présent professeur adjoint de philosophie à l'université de Californie San Diego (UCSD). Craig Callender est l'auteur d'ouvrages/articles publiés dans des revues de philosophie, de physique, de droit et il est spécialisé dans les concepts fondateurs de la physique.

Ralph Edney, formé initialement en mathématiques, a enseigné cette matière, mais est aussi journaliste et dessinateur de caricatures politiques. Il est l'auteur de deux romans graphiques et a illustré les ouvrages d'**ICON** *Introducing Philosophy and Introducing Fractal Geometry*. C'est aussi un fan inconditionnel de cricket.

Remerciements

Craig Callender est très reconnaissant à **Lisa Callender** et à **Pat McGovern** pour l'aide généreuse qu'elles ont apportée à la rédaction des textes d'origine de ce livre.

Index

4^e dimension 37, 39
5^e dimension 96

A

« -All you Zombies - » 88
Aristote 22-23
Augustin,
 voir Saint Augustin
Avicenne 10

B

Babyloniens 5
Barbour, Julian 168
Bergson, Henri 10
Big Bang
 128-129, 157-158
Big Crunch 158
Boltzmann,
 Ludwig 143-156
Boucles causales 74-75,
 99, 109-111
Broad, C. D. 36, 51

C

Cadres de référence 24
Calcul différentiel 26
Carnot, Sadi 141
Causius, Rudolf 141
Chaleur (science de la)
 voir thermodynamique
Changement
 et le temps 22-25
Changement
 et mouvement 44-49
Cigales 7
Circadien (rythme) 6
Communication,
 inversion du temps 162
Compatibilité 83
Cônes de lumière 62-64
Cônes et
 courbure 103-106
Cônes et singularité 129

Contradictions
 logiques 76-83
Cordes cosmiques
 (théorie) 114
Corps en chute 19
Courbure 94-96

D

Descartes, René 123
Dick, Phillip K. 133
Dieu 26-27
Dilatations de temps 89-93
Dimensions 38
Dirac, Paul 30-31
Direction Big Crunch 158

E

Egan, Greg 163
Égyptiens 4
Einstein, Albert 27,
 56-60, 94
Entropie 141, 148-160
Espace 37, 40
Espace fini ou
 infini 123-125
Espace-temps 61
Espace-temps courbé
 voir courbure
 espace-temps
Espace-temps cylindrique
 99, 106, 111, 131
Étoiles - horloges 16
Événements (ordre) 11

F

Futur 34, 43

G

Geroch, Robert 126
Gibbs, J. Willard 143
Gödel, Kurt 100-112
Gott, J. R. 114

Gravité quantique
 164-167

H

Hafele, Joseph 92
Hawking 117,
Hawking, Stephen
 78, 117, 128
Horloge atomique 1
 7-18, 21, 30-31, 92
Horloges - Ralentir
 voir dilatation du temps
Horloges biologiques 6-7
Horloges
 en général 4, 12
Horloges fiables 16
Hypothalamus 6

I

Incomplétude
 (théorème) 100

J

Jour, divisions 5

K

Keating, Richard 92
Kelvin, Lord 143

L

L'Univers-bloc
 voir théorie du temps
 temps sans les temps
Le temps absolu 18-23,
 26-28, 166
Leibniz, Gottfried 26-27
Lewis, David 78
Linné, Carl von 7
Lorentz, H. A. 67
Loschmidt
 (paradoxe) 149

Lumière Einstein 56-57
Lumière espace-temps 61
Lumière Gallée 58
Lumière Minkowski 60
Lumière Newton 59
Lumière vitesse 50

M

MacBeath, Murray 163
Malament, David 108
Maxwell, James Clark 143
McTaggart, J. E. 46-49
Mécanique
statistique 143
Mélatonine 6
Mesures de temps 14-15
Milne, Arthur 30-31
Minkowski, Hermann 60
Möbius,
changement 44
Möbius,
l'inversion 119-121
Möbius,
mouvement 40-42
Monde à l'envers 133
Murray, Bill 127

N

Newton, Sir Isaac
Non-orientabilité
118, 126
Norme double
temporelle 157-158
Novikow, Igor 115-116

P

Paradoxe de
Loschmidt 149
Paradoxe des
jumeaux 89-91
Particules 136, 142
Passé 43
Pendule 12-13, 14-15, 20
Penrose,
Roger 128, 150, 155

Phase de Hobart 133
Phases répétitives
voir retour éternel
Physique (lois)
18-19, 21, 98
Poincaré, Henri 28
Présent 34, 43-57
Présentisme 36
Price, Huw 157
Primevère 7
Prior, A. N. 36
Protection
chronologique
(théorème de) 117
Putnam,
Hilary 66, 109

Q

Quantique
(gravité) 164-167
Quantique
(mécanique) 136, 142

R

Rabi, Isidor 127
Réalisme 2, voir aussi
temps absolu
Reichenbach, Hans 13, 28
Relationnisme 22-27
Relativité 33-36, 169
Relativité Einstein
27, 56-65, 84
Relativité et le temps
sans les temps est 66
Relativité galiléenne 52-55
Relativité générale 169
Relativité spéciale 56,
67, 89, 109-110
Retour (éternel) 127
Rotation 100-102
Russel, Bertrand 44

S

Sagan, Carl 115
Saint Augustin 3, 10

Shoemaker, Sydney 24
Singularité 128
Socrate 35
Soleil comme horloge 16
Statique 165
Supercordes, théorie 164

T

Taub-NUT-Minser
(espace-temps) 106
Temps et branchements
122, 126
Temps fermé ouvert 131
Temps (fin des) 164
Temps personnel 80-93
Temps propre 65
Temps
psychologique 8-11
Temps qui
s'accélère 15
Temps uniformité 13
Terminator (film) 75
Théorie du temps
avec les temps
109-112
sans les temps
33, 37, 42-51
Thermodynamique
138-140
Thorne, Kip 115-116
Time Machine 68
Tipler, Frank 113
Torsion de Möbius 120-121
Trous de ver 115-117

U

Univers 18
Univers,
rotation 100-102

W

Weingard, Robert 78-79
Wells, H. G. 68
Wheeler-DeWitt 165-166
Williams, D. C. 50

NOTES de rédaction et de traduction

Comme annoncé dans l'Avertissement, certaines affirmations ou arguments avancés par l'auteur méritaient un supplément d'explication et/ou quelques renvois vers les textes cités. Le but est de mieux éclairer le cheminement « logique » de l'auteur et le questionnement central de l'ouvrage : qu'est-ce que le temps ?

¹ **Saint Augustin**, dans *Les Confessions* (traduction autorisée J. Trabucco) dit précisément : « *Qu'est-ce donc que le temps ? Si personne ne me le demande, je le sais. Mais si on me le demande et que je veuille l'expliquer, je ne le sais plus. .../...* »

² **Base 60.** Le choix de la base 60 par les Babyloniens, mais aussi par les Chinois, a de quoi intriguer. 60 est un nombre divisible par 1, 2, 3, 4, 5, 6 (le plus petit nombre divisible par tous les nombres de 1 à 6), par 10, 12, 15, 20, 30 et par lui-même, la somme de tous les chiffres en base 10, la somme de nombres premiers jumeaux (29 + 31), mais aussi de quatre nombres premiers consécutifs (11 + 13 + 17 + 19). C'est la base des GPS.

³ **La journée** aussi a des définitions « naturelles » : une journée agraire de 8 heures entre le lever et le coucher du Soleil était la règle locale, quelle que soit la saison (pratique qui remonte aux Romains). Le seul point fixe était midi, où commençait invariablement la septième heure.

⁴ **Base Sirius.** Cf. l'angle cosmologique : www.dinosoria.com > Énigmes > Ufologie. Les Dogons du Mali pourraient être un peuple parfaitement ordinaire si leur cosmogonie n'était pas si surprenante. En effet, la vie des Dogons est imprégnée de mythes venus du fond des âges. Ces

mythes deviennent intéressants quand les Dogons affirment que les huit nommo viennent de Sirius. De plus, les grands prêtres savent depuis fort longtemps que Sirius est accompagnée d'une autre étoile, baptisée Sirius B par les astronomes. Ce qui est extraordinaire c'est que depuis plusieurs siècles, toute la cosmogonie des Dogons est commandée par Sirius B. Or, cette étoile B n'a été découverte qu'en 1836 et identifiée comme une naine blanche qu'en 1915. Cette étoile, confièrent les sages Dogon, met 50 ans pour faire le tour de Sirius. Pour fêter cet événement, tous les 50 ans, ils célèbrent la fête de « Sigi », afin de régénérer le monde ; le **prochain** devrait avoir donc lieu en **2027**. Plus proche de nous et de « nos » civilisations, en matière de navigation, notamment en Méditerranée, on se référerait par défaut à Sirius ou à d'autres constellations (l'Étoile polaire est trop basse sur l'horizon pour être utile) pour se rendre de port en port.

⁵ **Horloge biologique – hypothalamus.** Le lecteur intéressé peut consulter : http://www.lecerveau.mcgill.ca/flash/i/i_11/i_11_cr/i_11_cr.../i_11_cr_hor.html Il y a, dans notre cerveau, une région pouvant conserver un rythme de base autonome même si les indices du cycle jour-

nuit sont supprimés. Chez les mammifères, cette « horloge biologique » se trouve dans l'hypothalamus, en bordure du troisième ventricule. Pour plus de précision, elle se resynchronise quotidiennement.

⁶ **L'horloge florale de Linné.** Au chapitre IX de *Philosophia botanica* (1751), Carl von Linné, naturaliste suédois, émet une idée originale : celle d'une « *horologium florum* », réglée sur l'ouverture, l'épanouissement et la fermeture des pétales de certaines fleurs (elle lui donnait, paraît-il, l'heure à une demi-heure près).

⁷ La France a le privilège de définir scientifiquement les unités du système international (SI). Parmi ces dernières, la seconde a une durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (un isotope du césium 137). Cf. aussi www.metrologie-francaise.fr/fr/si/unites-mesure.asp et l'Observatoire de Paris et www.obs-besancon.fr > Services d'observation > Astronomie/Astrophysique.

⁸ www.pourlascience.fr/.../article-la-quete-d-une-theorie-unifiee-des-interacti...

⁹ **Un sans les temps (*tenseless*) et un temps avec les temps (*tensed*).** On est dans le dilemme des connotations, car le temps peut aussi être celui du weather. Quel temps fait-il ? En anglais, les verbes ont des tenses – present, past and future tenses –, alors qu'en français, on parle de temps. cf. aussi <http://zulo.org/journal/post/2003/09/13/mctaggart-et-l-irrealite-du-temps>. Dans son article "The Unreality of Time" publié par Mind en 1908, John Ellis McTaggart conduit... "I regard time as unreal."

¹⁰ Le lecteur intéressé peut utilement consulter le lien qui suit où, dans son ouvrage *Chronos*, le physicien-philosophe français Étienne Klein défend l'Univers-bloc (<http://philodutemps.free.fr/?tag=presentisme>) et exprime sa sympathie pour une solution intermédiaire entre le présentisme et la théorie de l'Univers-bloc (la théorie B 'éternaliste).

¹¹ Cf. une discussion intéressante sur : <http://www.zulo.org/journal/post/2003/09/13/mctaggart-et-l-irrealite-du-temps>.

¹² Cf. <http://www.ladroitcriminel.free.fr>, *Condamnation et mort de Socrate pour accéder au récit de ce procès et fin de vie de Socrate* traduit du grec ancien par E. Chambray.

¹³ Cf. *Actucine* – nouvelle adaptation (1972) du roman de science-fiction devenu en français *Abattoir 5 ou La Croisade des Enfants* sur un enlèvement extraterrestre et le bombardement de Dresde pendant la Seconde Guerre mondiale.

¹⁴ Néologisme commode, certes, bâti sur la difficulté de distinguer entre (*time*) le temps qui s'écoule et les temps verbaux (*tenses*) qui modulent les verbes en passé, présent, futur et les constructions ici de tensed, tenseless, jusque *détenseur*, etc.

¹⁵ Cf. son parcours à la fois mouvementé et fascinant, notamment à Trinity College, Cambridge, dans http://fr.wikipedia.org/wiki/J._M._E._McTaggart.

¹⁶ « **Détenseur** » néol. – qui soutient la théorie du temps sans les temps.

¹⁷ « **Tenseur** » néol. – qui soutient la théorie du temps avec les temps.

¹⁸ Pour le lecteur qui voudrait s'imprégner du texte de référence : « *The Myth of Passage* », 1951 dans *Journal of Philosophy*, 48 (15), p. 457–472, <http://283403168925209589.weebly.com/uploads/9/3/3/0/9330952/>

williams_1951.pdf.

¹⁹ Concept largement imposé à partir de l'article de D.C. Williams⁶, *Les éléments de l'être in Textes clés de métaphysique contemporaine*, E. Garcia et F. Nef (éds), Vrin, 2007, du débat qu'il a suscité et des développements en cours.

²⁰ **Annus mirabilis**, poème de John Dryden, poète anglais. L'expression désigne aussi 1666 pour la publication de plusieurs travaux d'importance dus à Isaac Newton, l'année et la publication de quatre articles par **Einstein** en 1905: 1° sur l'effet photoélectrique, 2° sur le mouvement brownien (théorie quantique), 3° sur la relativité restreinte et enfin 4° sur l'équivalence masse-énergie dont nous connaissons tous la célèbre formule $E = mc^2$.

²¹ **Hermann Minkowski**, Lithuanien, aîné de 14 ans d'Einstein à qui l'on doit d'intéressants développements de la théorie géométrique des nombres, utilisée entre autres dans la théorie de la relativité.

²² **Space And Time**, titre d'une communication (en allemand) donnée à la 80^e réunion annuelle des German Natural Scientists and Physicians, Cologne, le 21 septembre 1908. In H. A. Lorentz, H. Weyl, H. Minkowski et al., *The Principle of Relativity: A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity* (1952), p. 74.

²³ L'angle (fonction du choix d'échelle de distance et de temps) peut être de 30° comme il peut être de 75°, peu importe; cela ne change rien à la logique de l'analogie, procédé qui mène parfois à inférences fausses...

²⁴ Wikipédia: "Le professeur **Hilary Putnam** est Fellow of the American Academy of

Arts and Sciences et Corresponding Fellow of the British Academy. Il est désormais *Cogan University Professor Emeritus* à Harvard.

²⁵ Sur Youtube: <http://www.youtube.com/watch?v=A9miqKm%aB0>, le lecteur trouvera la bande annonce (en anglais) du film tiré du roman. Il est intéressant de noter que l'exploration du héros se fait vers le futur et non vers le passé.

²⁶ Pour les amateurs de la science-fiction d'antan (Wells, Verne, Rétif de la Bretonne...), cf. pour le chapitre de Wells qui nous intéresse ici: <http://www.online-literature.com/wellshg/timemachine/1/>

²⁷ Image tirée d'un poème «*If Pigs Could Fly*» de **James Reeves** et sans doute ici plus encore de notre mythologie d'enfance; Callender qui a dû lire dans sa jeunesse «*The time has come, » the Walrus said, To talk of many things: Of shoes--and ships--and sealing-wax-- Of cabbages--and kings-- And why the sea is boiling hot-- And whether pigs have wings.*

The Walrus and The Carpenter de Lewis Carroll
(*Through the Looking-Glass and What Alice Found There*, 1872)

²⁸ Sur <http://www.nyhabitat.com>, les lecteurs trouveront la précision: *Dickens [1812-1870]* habitait entre mars 1837 et décembre 1839, au 48 Doughty Street, Bloomsbury, Londres.. Aujourd'hui on y trouve l'excellent Dickens Museum.

²⁹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_temporel. Le principe de causalité en science veut que tout événement soit la conséquence d'une cause.

En introduisant la notion de voyage dans

le temps (on ne parle ici que du voyage vers le passé).

³⁰ **Robert Weingard** (mort en 1996) était philosophe des sciences et professeur à la grande université de Rutgers (New Jersey), avec ses 65 000 étudiants et 4 campus.

³¹ Tricératops était végétarien et vécut au Crétacé.

³² " - *All You Zombies* - " n'existe pas en français, malheureusement, mais la trame en anglais vaut le détour, sur http://en.wikipedia.org/wiki/AllYou_Zombies. Le **titre avec ses guillemets** et tirets est une citation de la fin du récit, où le héros dit que sa vie est une citation. C'est une courte œuvre de science-fiction écrite en une seule journée le 11 juillet 1958 publiée en mars 1959 dans *Fantasy et Science Fiction*.

³³ http://www.en.wikipedia.org/wiki/Hafele-Keating_experiment (en anglais). En octobre 1971, **Joseph C. Hafele**, physicien et **Richard E. Keating**, astronome, ont emmené quatre horloges atomiques (à césium) à bord d'avions commerciaux subsoniques pour leur faire faire deux tours du globe, un dans chaque sens (chaque voyage a duré environ 3 jours, soit 72 heures). Ils ont publié leurs résultats dans *Science* en **1972 (177, 166)**.

Ces résultats sont la confirmation empirique du paradoxe des horloges. À leur retour à Washington, on a noté un gain net de +0,15 microseconde par rapport à l'horloge de référence restée à terre et « immobile ». En fait, le gain (décalage) est indifférent au sens des vols.

³⁴ Il est à noter que les « lignes droites » tracées sur le ballon sont elles-mêmes cour-

bées. On doit parler alors de lignes orthodromiques, celles que suivent les avions de ligne en traversant le globe.

³⁵ **Kurt Gödel** est austro-américain. Son résultat le plus connu, le théorème d'incomplétude, affirme que n'importe quel système logique suffisamment puissant pour décrire l'arithmétique des entiers admet des propositions sur les nombres entiers ne pouvant être ni infirmées ni confirmées à partir des axiomes de la théorie.

³⁶ Cependant, les lignes d'expansion ont un sens, ce qui indique « un centre » comme point de départ; la meilleure image est celle de Lord Kelvin, du pudding anglais avec des raisins. Le pudding explose et les raisins suivent bien des lignes partant du centre du pudding tout en s'éloignant les uns des autres!

³⁷ www.science-bbscom/161.../08b4f631-3f966950.htm. L'une des sources les plus étonnantes de données et d'idées sur l'énergie est la cosmologie en physique et astrophysique, précisément dans les univers **Taub-Nut**, **Misner** et **Gödel**. On peut citer, par exemple, la cosmologie **Gott-LI** sur les boucles de temps... De nombreux articles y ont été consacrés.

³⁸ Cf. http://archive.org/stream/geometryrelativi00ruck/geometryrelativi00ruck_djvu.txt. En 1942, Gödel et Einstein étaient des amis proches, faisant tous les jours à Princeton le même chemin vers leur bureau. On se rappelle qu'en 1949, Gödel avait démontré mathématiquement la non-existence du temps dans un univers régi par la relativité.

³⁹ **Frank Jennings Tipler**, né en 1947, est physicien mathématique et cosmolo-

giste, auteur de textes sur l'Omega Point, un mécanisme pour faire ressusciter les morts.

⁴⁰ **John Richard Gott III**, né en 1947, professeur d'astrophysique à Princeton. Il est spécialement renommé pour avoir développé et soutenu des théories cosmologiques basées sur la science-fiction.

⁴¹ **Carl Edward Sagan** (1934–1996) scientifique et astronome, fondateur du programme SETI de recherche d'intelligence extraterrestre; Cf. sa série de vulgarisation scientifique Cosmos.

⁴² Cf. **Möbius** www.maths-et-tiques.fr/index.php/detentes/le-ruban-de-moebius.

⁴³ Geroch's splitting theorem. D'après Wikipédia – dans la théorie des structures causales, Geroch démontre son théorème de «splitting» (division) qui caractérise un espace-temps globalement hyperbolique, quoique assez pointu en termes mathématiques.

⁴⁴ *Ice Capades*. Pendant près de 60 ans, ce «show» était très populaire, avec des patineurs amateurs passant professionnels. Le show a repris récemment avec succès.

⁴⁵ http://fr.wikipedia.org/wiki/Roger_Penrose Roger Penrose – Il enseigne les mathématiques au Birkbeck College de Londres où il élabore la théorie décrivant l'effondrement des étoiles sur elles-mêmes, entre 1964 et 1973, et où il rencontre le célèbre physicien Stephen Hawking. Ils travaillent alors à une théorie sur l'origine de l'Univers, Penrose y apportant sa contribution mathématique à la théorie de la relativité générale appliquée à la cosmologie et à l'étude des trous noirs.

En 1974, il publie un article où il présente

ses premiers pavages non périodiques: les pavages de Penrose (Pentaplexity, Bulletin of the Institute for Mathematics and its Applications, 10, p. 266–271, 1974). On lui doit quelques objets impossibles, tel le triangle de Penrose.

⁴⁶ **À rebrousse-temps**, roman de Philip K. Dick, publié en 1967 aux États-Unis sous le titre *Counter-Clock World*. On peut acquérir **À rebrousse-temps** d'après une traduction de Michel Deutsch dans la collection J'ai lu, n° 613, publication: 1968, p. 249. Résumé: «Le cours du temps s'est inversé. Cela résulte d'un phénomène physique vaguement expliqué: l'effet Hobart. Il est donc tout à fait logique que les morts reviennent à la vie et que les vivants retournent à la «matrice». Les cigarettes se reconstituent dans les cendriers et les vêtements sales du matin sont devenus propres le soir.

⁴⁷ Wikipédia – Le second principe de la thermodynamique introduit la **fonction d'état entropie S** usuellement assimilée à la notion de désordre qui ne peut que croître au cours d'une transformation réelle.

⁴⁸ Le mot *entropie* a été inventé par Clausius qui justifie son choix dans *Sur diverses formes des équations fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur (1865)*: «Je préfère emprunter aux langues anciennes les noms des quantités scientifiques importantes, afin qu'ils puissent rester les mêmes dans toutes les langues vivantes; je proposerai donc d'appeler la quantité S l'entropie du corps, d'après le mot grec η τροπή une transformation. .../... (Cité dans *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* de D. Lecourt, chez PUF, 1999.)

⁴⁹ Il caractérise le degré d'organisation ou d'information d'un système, mais possède également de nombreuses significations : trois exemples – en thermodynamique, c'est une grandeur associée à un système de particules; en informatique, c'est un manque d'information; et en écologie, c'est une mesure de la biodiversité. Le deuxième principe de la thermodynamique, ou principe d'évolution des systèmes, affirme la dégradation de l'énergie : l'énergie d'un système passe nécessairement et spontanément de formes concentrées et potentielles à des formes diffuses et cinétiques (frottement, chaleur, etc.). Il introduit ainsi la notion d'irréversibilité d'une transformation et la notion d'entropie. Il affirme que l'entropie d'un système isolé augmente ou reste constante.

Ce principe est souvent interprété comme une « mesure du désordre » et à l'impossibilité du passage du « désordre » à l'« ordre » sans intervention extérieure. Cette interprétation est fondée sur la théorie de l'information de Claude Shannon et la mesure de cette « information » ou entropie de Shannon.

⁵⁰ « Mesure » est un peu trop simpliste : fr.wikipedia.org/wiki/Entropie_ (thermodynamique) Il y a des pages et des pages de mathématiques, certes qui commencent par Q/T Boltzmann a été en butte à la moquerie des scientifiques de son époque, ce qui l'a vraisemblablement conduit au suicide. Sur sa tombe à Vienne est gravée sa formule à l'origine du concept de l'entropie.

⁵¹ http://www.zapatopi.net/kelvin/quotes/Lord_Kelvin – Le lecteur pourra savourer

cette approche d'une nouvelle lumière : « *Although mechanical energy is indestructible, there is a universal tendency to its dissipation, which produces throughout the system a gradual augmentation and diffusion of heat, cessation of motion and exhaustion of the potential energy of the material Universe.* » .../... (Good Words, 1862.)

⁵² Le renvoi vers l'espace d'énergie dégradée se fait par rayonnement infrarouge (IR).

⁵³ Cf. son site personnel – <http://www.prce.hu/> **Huw Price**, professeur de philosophie à l'University of Cambridge. À l'University of Sydney (2002–2012), il était directeur et fondateur du Centre for Time. Ses œuvres incluent *Time's Arrow and Archimedes' Point* (OUP, 1996) et une série d'articles parus dans *Nature*, *Science*, *Philosophical Review*.

⁵⁴ <http://www.arxiv.org/list/gr-qc/recent>.

⁵⁵ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Backmasking> – technique connue sous le nom de « backmasking »; les Beatles étaient coutumiers du fait.

⁵⁶ Cf. « *Who was Doctor Who's Father?* » de Murray MacBeath. .../...récit étonnant de sci-fi ...

⁵⁷ « ... *So here's the big puzzle. If it's the 50th birthday of the Doctor Who series, how old is the doctor himself? And does it make sense for us to say, happy birthday Doctor Who?* »

⁵⁸ **Greg Egan** est un écrivain australien. Programmeur informatique de profession, il publie son premier roman, *An unusual angle*, en 1983 mais écrit tout d'abord quelques nouvelles avant de se tourner entièrement vers la science-fiction.

⁵⁹ www.astrosurf.com/luxorion/cosmos-quantique3.htm.