

LE SECOND PRINCIPE DE LA SCIENCE DU TEMPS

PAR O. COSTA DE BEAUREGARD

Maître de Recherches au C.N.R.S.

Le problème de l'irréversibilité du temps est bien l'un des plus fascinants qui soient. C'est peut-être aussi, dans l'ordre social et dans l'ordre spirituel, celui des problèmes scientifiques qui nous touche du plus près. S'agissant d'action concrète, combien de fois n'avons-nous eu à déplorer cette double impossibilité où nous sommes et de refaire le passé et de connaître l'avenir ? S'agissant de réalisations techniques, en avons-nous entendu des doléances d'ingénieurs sur les viscosités, les traînées, les pertes par rayonnement, les fuites de toutes espèces, la dégradation de l'énergie en chaleur ! La fuite du temps a été quelquefois exprimée en accents déchirants par les poètes (O temps, suspends ton vol!) Mais les sages ont inlassablement ramené l'attention sur le fait que cette désolante usure est le revers d'une médaille au flamboyant avers : si nous savons nous servir de cet infatigable courant du temps qui passe, il n'est peut-être pas de progrès, si beau soit-il, qui ne puisse être espéré. De ceci nous avons une image analogique dans les étonnants accomplissements produits par l'évolution de la vie ou encore, sous nos yeux et quotidiennement, dans les réalisations de l'ontogénèse biologique.

Mais il est temps de redescendre de ces hauteurs, pour entreprendre de concert une méditation sur les différents aspects du temps de la physique, où notre temps d'hommes est si profondément incarné.

*L'irréversibilité n'est pas déduite,
mais postulée, aussi bien par la thermodynamique
que par la mécanique statistique*

Si, dans la démonstration du théorème de Carnot, l'on postulait que lors d'une transformation monotherme, la chaleur est absorbée et le travail produit et que, deux thermostats étant amenés au contact, la chaleur coule du moins chaud vers le plus chaud, tous les énoncés s'en déduisant auraient leur flèche retournée; l'on se trouverait dans cet univers paradoxal, considéré notamment par Flammarion et par Poincaré, où deux températures initialement indiscernables iraient se différenciant sans qu'on sache prédire laquelle va augmenter et laquelle diminuer; la viscosité serait accélérante au lieu d'être amortissante et ferait sortir les mobiles du repos dans une direction et pour une trajectoire imprévisibles. Et ce n'est pas seulement la prévision, c'est aussi l'action qui deviendrait impossible dans cet univers: le plus mesuré d'entre nos gestes déclencherait d'énormes et incalculables conséquences. La dégradation de l'énergie sous toutes ses formes coûte certainement cher aux ingénieurs, mais nous commençons à deviner que c'est en faisant rentrer cet impôt que l'Univers veille efficacement à notre sécurité: grâce à lui, nous sommes assurés du retour au calme après toutes les tempêtes, fussent-elles provoquées par nous-mêmes.

Poincaré dit de son univers paradoxal qu'il serait un univers sans lois. La vérité est qu'il serait un univers sans lois causales, mais à la fois finales. Tandis que, dans notre univers familier (et mis à part les phénomènes biologiques et psychiques) la prédiction statistique est infaillible, dans l'univers paradoxal c'est au contraire la rétrodiction (processus temporellement symétrique de celui de la prédiction) qui serait la loi générale, et la prédiction qui serait impossible.

Une prédiction statistiquement infaillible et une rétrodiction impossible !

Notons bien ce fait étonnant que, dans notre univers physique, la rétrodiction est normalement impossible.

Affirmation en apparence audacieuse; les événements passés, dûment enregistrés, ne sont-ils pas par définition même des faits bien établis ? En réalité toute cette rétrodiction repose essentiellement sur le phénomène de la mémoire psychologique; même lorsqu'il s'agit de faits soigneusement enregistrés dans des archives, la mémoire est indispensable, car c'est elle qui contient, sous forme de tradition, la clé de l'interprétation des documents. Supprimons la mémoire ou l'intuition qui livre la clé de la lecture des traces du passé, et la rétrodiction devient un art de haute conjecture :

- Je vois un sillage sur un lac, et j'en conclus qu'un bateau est passé; mais pour évoquer les formes possibles du bateau je ne puis interroger que mes connaissances et mes souvenirs, avec un risque d'erreur considérable si je viens d'un autre pays. Personne au contraire ne se trompera en affirmant que ce sillage sera effacé dans cinq minutes.

- Un obus — ou un avion, ou une voiture — vient d'exploser : impossible de calculer l'état de choses antérieur à l'explosion, c'est-à-dire reconstituer exactement le véhicule.

- Je découvre un objet préhistorique, et rien ne peut me faire deviner son visage passé, ni même son caractère d'outil fabriqué, hormis une sorte de connivence d'homme à homme par dessus les millénaires et quelque similitude entre les problèmes de ce frère lointain et les miens propres.

- Les plus profonds spécialistes de la mécanique céleste en sont encore à disputer de l'origine du système solaire dont ils savent pourtant assez exactement comment il va évoluer, parce que le firmament qui prodigue à nos regards des nébuleuses leur cache encore l'histoire naturelle des systèmes planétaires.

On pourrait multiplier les exemples, il faut donc conclure que, dans le cosmos matériel, *la rétrodiction est normalement impossible, tandis qu'au contraire la prédiction est statistiquement infaillible.*

Le mot clé de **statistique** vient d'apparaître et il exprime une notion essentielle à toute la physique moderne ; avec ce concept et le concept jumeau d'**information** analysé par la cybernétique (à laquelle sera consacré un prochain tome de cette collection) l'on pénètre au cœur des problèmes de l'irréversibilité physique. A cet égard l'importance du principe de Bayes est de plus en plus soulignée par les chercheurs internationaux.

Bayes et le problème de la recherche des causes

Plusieurs « causes » (C_1, C_2, \dots) sont — ou ont été — susceptibles de produire des événements (E_1, E_2, E_3, \dots). On constate que c'est effectivement E_1 , par exemple, qui s'est produit. Peut-on estimer laquelle des « causes » a le plus probablement agi ?

Un exemple de Poincaré fera saisir la nature du problème. Vous jouez à l'écarté avec un adversaire dont vous ignorez s'il est tricheur ou non. Il sort du premier coup un roi (carte gagnante). A-t-il triché ? L'analyse se fait en introduisant les *probabilités conditionnelles* suivantes :

- (R/T) = Probabilité qu'un tricheur sorte un roi (posée par Poincaré, un peu abusivement, égale à 1. Nous conserverons cette valeur, qui simplifie un peu les calculs sans jouer de rôle fondamental).
 (R/H) = Probabilité qu'un joueur honnête sorte un roi (par définition de « honnête » $A/H = 4/32 = 1/8$, puisqu'il y a 4 rois sur 32 cartes, supposées de sortie équiprobable).

Il est facile de montrer que le schéma n'est pas complet et qu'il manque un paramètre, par exemple la probabilité t_1 , dite probabilité à priori, que l'adversaire soit un tricheur. On trouve $t_2 = (T/R) =$ Probabilité que l'adversaire soit un tricheur sachant qu'il a gagné du premier coup (probabilité à posteriori).

$$t_2 = \frac{8 t_1}{1 + 7 t_1}$$

Comme on s'y attendait $t_2 \geq t_1$ ($t_2 > t_1$, si $t_1 \neq 0$).

Autrement dit l'expérience acquise ne nous a donné aucune certitude, elle n'a pu que modifier notre champ de probabilité ($t_2 \neq t_1$).

Si t_1 était déjà grande, t_2 est voisine de t_1 et l'on devra se méfier considérablement. Pour $t_1 = 1/2$ (valeur abstraite, proposée par Poincaré pour rendre plus apparent le paradoxe. Mais il faudrait être fou, ou obligé de jouer avec quelqu'un dont on admet qu'il a une chance sur deux d'être un tricheur) on trouve $t_2 = 8/9$, c'est-à-dire une quasi certitude.

Dans le cas général, en admettant les nombres des causes C_i et des événements E_j finis la formule des Bayes s'écrit :

$$\text{Prob. } (C_i/E_j) = \frac{\text{Prob. } (E_j/C_i) \cdot \text{Prob. } ((\text{à priori}) C_i)}{\sum_i \text{Prob. } (E_j/C_i) \cdot \text{Prob. } (C_i)}$$

Prob. (C_i/E_j) = Probabilité « à posteriori » de la cause C_i sachant que l'événement E_j est intervenu.

Prob. (E_j/C_i) = Probabilité que la cause C_i entraîne l'événement E_j (connaissant les mécanismes ou peu).

La rétrodiction ne peut donc se faire que si on connaît les probabilités à priori, c'est-à-dire suppose déjà une certaine rétrodiction que la connaissance du présent ne fait que préciser.

La formule précédente n'est pas symétrique en Prob. (C_i/E_j) et Prob. (E_j/C_i) . Elle ne le devient que si on pose toutes les probabilités à priori égales (hypothèse dont nous venons de voir sur un exemple combien elle peut être stupide), et le problème de la rétrodiction devient exactement symétrique de celui de la prédiction (rétrodiction « aveugle » de Watanabe). Notre problème est donc celui de l'inégalité des coefficients de Bayes, c'est-à-dire celui de la dissymétrie de fait entre prédiction (Prob. E_j/C_i) et rétrodiction (Prob. C_i/E_j).

Or ces coefficients, estimés indépendamment de la dynamique interne du système étudié, ne sont en définitive rien d'autres qu'une manière de représenter l'interaction de ce système avec le reste du cosmos, interaction qu'il est pratiquement permis d'ignorer lorsqu'on regarde vers le futur, mais qu'il est tout à fait interdit d'oublier lorsqu'on cherche à remonter vers les sources.

Mécanique statistique et rétrodiction

Et pourquoi donc l'interaction d'un système partiel avec le tout du cosmos est-elle si aisément négligeable lorsqu'on regarde vers l'avenir et si indispensable pour étudier le passé ? (ce qui en rend l'étude si difficile car on ne peut jamais avoir d'informations suffisamment fines et nombreuses sur tout l'univers). C'est ce que l'épistémologie de la mécanique statistique va nous apprendre.

Inutile pour cela de recourir aux conceptions très élaborées impliquées dans les diverses versions modernes de la démonstration du théorème de Boltzmann en mécanique statistique (la croissance de l'entropie) : nous compliquerions grandement les discours sans y rien ajouter d'essentiel.

Un exemple simple, emprunté ici encore à Poincaré, fera l'affaire. Poincaré considère le problème de la répartition quasi-uniforme des petites planètes sur leur trajectoire commune : il suppose, pour simplifier cette trajectoire circulaire, et les petites planètes infiniment nombreuses et sans interactions entre elles. Soit alors : a le moyen mouvement et b la longitude initiale d'une petite planète, $f(a, b)$ la densité de distribution attachée au point (a, b) . Quelle que soit, remarque Poincaré, la fonction $f(a, b)$ supposée simplement continue en a , l'expression :

$$M(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{(a t + b)} f(a, b) da db$$

tend vers zéro lorsque t tend vers l'infini positif; il suit de là que, par exemple, quelle que soit la loi de l'éclatement initiale d'une grosse planète, la distribution des petites planètes résiduelles tendra vers l'uniformité. Ce résultat, par sa généralité, satisfait visiblement Poincaré.

Mais si la variable t tend vers l'infini négatif, $M(t)$ tend tout aussi bien vers zéro. Devrons-nous conclure de là que la grosse planète observée à l'instant zéro est née du rassemblement d'un essaim homogène de petites planètes existant dans un lointain passé ? Evidemment non. Mais il n'y a simplement pas d'issue lors de ce paradoxe, sinon dans la règle d'emploi suivante, fournie en même temps que la mécanique statistique : *la mécanique statistique est faite pour être appliquée telle quelle en prédiction, mais il est interdit de l'appliquer aveuglément en rétrodiction.*

C'est dans cette prescription, et nulle part ailleurs, que réside l'irréversibilité si longuement analysée par la mécanique statistique. Bien loin d'être déduite, l'irréversibilité est donc posée en principe à la base même. Il nous faut maintenant analyser la signification physique de cette règle posée.

La mécanique statistique déduit la loi de l'entropie croissante du principe des actions retardées

La configuration improbable qu'on se donne à l'instant initial et qui est le départ de l'évolution à étudier ne résulte jamais de l'évolution naturelle antérieure du système : voilà, en d'autres mots, ce que nous venons de dire. Or, souvenons-nous que pour les systèmes à nombre fini de degrés de liberté, il existe un « théorème du retour » de Poincaré, stipulant que le système repasse une infinité de fois arbitrairement près de toute configuration qu'il a une fois traversée : en foi de quoi, par exemple, une goutte d'encre déposée dans un verre d'eau où elle s'est diffusée devrait, au bout d'un temps très long, se concentrer à nouveau. Jamais on n'a vu cela, et la réponse est évidemment que le contenu du verre est en interaction faible avec le reste du cosmos, en sorte qu'il ne s'agit pas d'un système à nombre fini de degrés de liberté.

Voyons cela de plus près.

En fait, la configuration improbable qu'on se donne à l'instant zéro est toujours le résultat d'une interaction, cessant pratiquement à l'instant zéro, entre le système en étude et un autre système : c'est le physicien qui, avec une pipette dépose une goutte d'encre au sein d'un verre d'eau; c'est la grosse planète en équilibre métastable qui tout à coup va éclater; c'est la pierre qui tombe dans un étang calme et y engendre un train d'ondes divergentes où se disperse son énergie.

Ces exemples ne font qu'illustrer diversement l'énoncé d'un principe des actions retardées. Supposons que deux systèmes, antérieurement et postérieurement séparés, entrent en interaction forte pendant un certain intervalle de temps; c'est un fait que la fin de l'interaction conduit chacun d'entre eux dans un état improbable qui est le commencement d'une évolution, mais que son début ne les cueille pas dans un état improbable

qui serait le terme d'une évolution. Lorsqu'une météorite traverse l'atmosphère terrestre, elle y fait naître une onde balistique et calorifique divergente, elle n'y efface pas une onde convergente antérieurement apparue. Ou encore, si on déplace un élément de la paroi contenant un gaz en équilibre thermique, la loi maxwellienne de la distribution des vitesses est modifiée après, mais non avant, cette opération.

Nous sommes ainsi préparés à la double idée que :

- la loi des actions retardées n'est pas substantiellement différente de la loi de l'entropie croissante;
- et que la loi des actions retardées est, elle aussi, une loi purement statistique, en sorte qu'elle cesse tout simplement de s'appliquer au phénomène élémentaire individuel.

Lorsqu'on réfléchit à ceci, l'on se convainc qu'il n'existe aucune preuve objective en faveur de l'existence d'une loi des actions retardées pour le phénomène individuel. Et même, en mécanique quantique on trouve des arguments positifs en faveur d'une symétrie avenir-passé des interactions individuelles.

Réciproquement, la loi des actions retardées peut être déduite du principe de l'entropie croissante

Reprenons l'un de ces couples de deux systèmes inter-agissants dont nous venons de parler : leur interaction momentanée a un résultat. Le fait est que les énergies cinématiques de leurs éléments constituants, évaluées dans le repère lié au centre de gravité, sont plus proches de l'équipartition après l'interaction qu'avant : la météorite se freine, elle ne s'accélère pas en traversant l'atmosphère terrestre.

Nous concluons finalement de l'étude épistémologique précédente que les deux principes de l'entropie croissante et des actions retardées sont arbitrairement déductibles l'un de l'autre, qu'ils sont donc équivalents l'un à l'autre, et de nature essentiellement macroscopique et statistique. En particulier, il n'y a pas de principe des actions retardées pour le phénomène élémentaire individuel.

L'explication ultime de l'irréversibilité doit être cherchée à l'échelle du cosmos global. Son expression mathématique est une condition aux limites pour le cosmos global

Il résulte de l'ensemble de ce qui précède que la recherche de l'origine ultime de l'irréversibilité nous conduit toujours à inclure un système partiel dans un système plus vaste. Et ainsi, passant alternativement du principe des actions retardées à celui de l'entropie croissante, nous serons reconduits jusqu'au tout du cosmos. Cette circonstance est strictement opposée à celle qu'on rencontre usuellement en Physique : et l'on ne saurait mieux dire que ce n'est pas du côté des lois élémentaires qu'il faut chercher l'origine de l'irréversibilité. Si toutes les évolutions partielles exhibent la même flèche, bien connue, c'est à cause de l'inévitable contamination qu'elle subissent du fait de l'évolution du cosmos global. Nous avons là un exemple, bien rare en Physique, d'une action contraignante exercée par le tout sur la partie.

Ainsi, tous les équilibres métastables et toutes les collisions « fortuites » entre systèmes qui auparavant « s'ignoraient », sont tirés d'une prodigieuse réserve de situations improbables que recèle encore aujourd'hui le cosmos ; ce sont comme des fossiles conservés à travers le temps d'un état originel prodigieusement improbable du tout du cosmos, et comme de ces rappels multipliés de l'explosion initiale auxquels on assiste dans certains feux d'artifice. L'évolution spatio-temporelle du tout du cosmos a pour image une gigantesque cascade indéfiniment divergente. Et le principe de l'irréversibilité universelle ne peut pas avoir d'autre expression que celle-ci : sur une certaine hypersurface (du genre espace), l'état de l'univers est donné comme hautement improbable.

Équivalence entre les deux principes de l'entropie croissante et des actions retardées dans la théorie des ondes quantifiées

Nous savons aujourd'hui que la mécanique fondamentale n'est plus la mécanique newtonienne, mais bien la mécanique ondulatoire. C'est donc sur cette base que la mécanique statistique doit désormais être fondée.

Or le résultat que nous venons d'établir au moyen d'une longue analyse épistémologique (savoir l'équivalence entre les deux principes de l'entropie croissante et des actions retardées) s'obtient en un tournemain dans ce nouveau cadre.

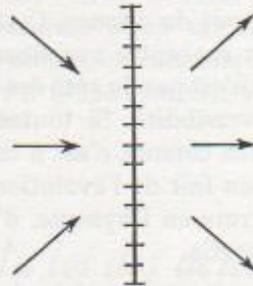


FIG. 1. — *L'expérience type du réseau*

Voici une image spatialisée de ce qui précède. Nous avons un réseau plan sur lequel tombe normalement une « onde matérielle » plane et qui engendre donc, comme il est bien connu, un nombre fini g d'ondes planes émergentes. Nous ne perdons pas de généralité en supposant que les probabilités de transmission d'un corpuscule incident vers toutes les ondes planes émergentes sont égales. Bien entendu, le résultat expérimental est alors que toutes les ondes planes émergentes sont d'égale intensité, c'est-à-dire se trouvent également occupées. Or, un raisonnement élémentaire de calcul des probabilités de prédiction montre qu'il en doit être ainsi.

Mais considérons le problème optique du retour inverse. L'une quelconque des ondes planes émergentes peut être engendrée à partir de g ondes planes incidentes. Si un corpuscule est reçu sur une onde plane émergente et qu'on ne sache rien en dehors de ce fait (sinon l'existence et les caractéristiques du réseau), tout ce qu'on peut « rétrodire » est que le corpuscule incident était certainement porté par l'une des g ondes planes qu'on vient de dire, avec des probabilités de rétrodiction toutes égales. Pourtant, l'on sait bien qu'il est macroscopiquement impossible d'obtenir un faisceau émergent de particules monocinétiques en réalisant la « confusion en phase » de g ondes planes d'égale intensité sur un réseau... A ce simple énoncé, les mânes de Fresnel et ceux aussi de Bayes, ont dû frémir...

Cet exemple illustre bien comment, pour la théorie des ondes quantifiées, les deux principes de l'entropie croissante et des ondes retardées sont arbitrairement déductibles l'un de l'autre : en mécanique quantique, les ondes retardées et avancées sont respectivement employées dans les calculs de prédiction et de rétrodiction; il est dès lors quasi-évident que l'exclusion *macroscopique* des ondes avancées ou de la rétrodiction aveugle est une seule et même chose sous deux mots différents.

Une démonstration célèbre de Von Neumann établit l'irréversibilité du processus de l'acte de mesure quantique en ce sens que si l'on postule que les ondes quantifiées macroscopiques sont retardées (divergentes) la loi de la croissance de l'entropie lors de l'exécution d'une mesure s'ensuit. Le principe des ondes retardées s'applique aux intervalles de temps séparant deux mesures, la loi de l'entropie croissante aux intervalles de temps intéressés par les mesures. Si, au contraire, on postulait l'existence macroscopique d'ondes quantifiées convergentes ou avancées, c'est une loi de décroissance de l'entropie qu'on établirait. Nous nous trouverions ainsi dans le cosmos paradoxal de Flammarion et de Poincaré.

Les exigences de la théorie de la relativité et celles de la cybernétique

Aujourd'hui que la Physique entière, de la microphysique à l'astrophysique, est devenue relativiste, il y a deux conceptions traditionnelles qui sont devenues strictement interdites. La première est celle d'une séparation des événements en deux classes, ceux « déjà réalisés » et ceux « non encore réalisés », cela résulte de ce que chaque observateur découpe l'espace-temps relativiste non plus en deux régions comme autrefois, mais en trois : « passé », « futur », « ailleurs ». Il n'y a plus d'ordre de succession imposé pour deux événements séparés par un intervalle du genre espace, et, ceci interdit strictement de penser que le « futur » serait encore non réalisé tandis que le « passé » le serait déjà.

Tout le bloc spatio-temporel doit être considéré comme donné à la fois, ne variatur et sub specie æternitatis. Bien entendu cette affirmation vaut historicité et contingence comprises; la meilleure preuve en est l'existence même de la mécanique ondulatoire relativiste, théorie quadridimensionnelle essentiellement probabiliste. (Tomonaga, Schwinger, Feynman, 1946-1950).

Le problème que se posait encore un Poincaré : « Pourquoi l'univers va-t-il dans le temps vers ses états les plus probables et n'en vient-il pas ? » n'a plus aucun sens en physique relativiste. *A sa place, nous avons le problème suivant : « l'espace-temps étant tel que son feuilletage continu en hyper-surfaces arbitraires du genre espace soit ordonné suivant des valeurs monotones de l'entropie, pourquoi le temps des êtres vivants et des êtres conscients est-il obligé d'explorer la quatrième dimension dans le sens qui fait apparaître les entropies comme croissantes et les ondes comme divergentes, et non pas dans le sens contraire ? »*

Dans beaucoup d'exposés traditionnels de la mécanique statistique on laissait entendre que le hasard ne s'introduit dans cette théorie qu'en mesure de notre ignorance des phénomènes fins. Cette affirmation était certainement trop forte, car beaucoup de conséquences de la croissance de l'entropie sont indubitablement objectives et ne sauraient donc relever en dernière analyse d'une explication purement subjective. « Il faut donc bien, disait explicitement Poincaré, que le hasard soit autre chose que le nom donné à notre ignorance ». Ce n'est pas le fait de savoir plus ou moins exactement d'où vient et où va chaque photon émis par le soleil qui gêne ou favorise le rayonnement de cet astre. Avec ou sans observateur, l'entropie de l'univers va croissant. (Ceci revient à dire que le choix des cellules d'extension en phase ayant un sens physique utilisable n'est pas absolument arbitraire).

Comme L. Brillouin l'a fait observer, la cybernétique a précisé de manière très intéressante cette idée classique, en identifiant l'entropie à un manque d'information existant sur un système. Mais la preuve qu'une restriction importante subsiste en cette voie est la distinction que L. Brillouin est obligé de faire entre « information libre » (ou information pure, arbitrairement définie) et « information liée » à l'entropie physique. L. Brillouin constate à la fois que cette distinction est nécessaire et pourtant qu'elle s'estompe notablement dans certains cas. Ceci, joint à cet autre fait très important que le mécanisme fin de la reconversion de l'information en négentropie reste extrêmement mystérieuse (car le recours, par exemple, à des cloisons parfaitement rigides, sans frottement et sans masse, est manifestement de l'ordre de l'apologue), prouve que le problème n'est pas encore adéquatement résolu. Mais une chose nous semble à priori certaine : en cybernétique aussi la tentation du subjectivisme radical est un vertige ; *il doit y avoir, dans la notion d'information liée, quelque chose d'objectivement irréductible.*

Etant donc admis qu'à chaque état du cosmos global, figuré sur une hypersurface du genre espace, correspond une valeur objective de l'entropie, nous cherchons maintenant à formuler un principe tel que la flèche bien connue du temps biologique et psychologique s'ensuive. *Mais, à peine formulé en tant que demande, ce principe est trouvé, L. Brillouin l'a énoncé très clairement sous le nom « de principe physique de l'information » : dans une expérience macroscopique, l'information (au sens cybernétique) acquise sur un système ne peut l'être qu'aux dépens d'une négentropie existante au moins égale. Inversement, toute information possédée sur un système y permet la production d'une négentropie dont la valeur est au plus égale à l'information dont on dispose.*

Le principe que nous cherchions saute alors aux yeux : c'est un principe de croissance de l'information d'origine expérimentale macroscopique, qui oblige les psychismes incarnés à traverser les hypersurfaces dans le sens qui fait apparaître les entropies comme croissantes et les ondes comme divergentes. Vouloir explorer à rebours la quatrième dimension serait aussi impensable que de vouloir lire à rebours un traité de mathématiques ou de philosophie, en effaçant ainsi de proche en proche la connaissance qu'au départ on pouvait avoir de la théorie. Il n'est donc même pas interdit de penser qu'il y ait entre la vie consciente ou « l'attention à la vie » pour parler comme Bergson et la pensée logique une très grande affinité de nature, et qu'alors une autre connexion entre vie subconsciente et exploration d'un livre à bâtons rompus doit être parallèlement établie.

Quoi qu'il en soit, nous n'avons fait, dans ce qui précède, que retrouver une vue épistémologique formulée par Boltzmann en un temps où l'on ne connaissait encore ni la Relativité, ni la Cybernétique; ce serait de par leur nature même que les êtres vivants ou conscients sont obligés d'explorer dans le sens descendant la courbe de la négentropie universelle. Nous nous instruisons par l'expérience : voilà une affirmation banale, mais peut-être extrêmement fondamentale. C'est elle qui donne son sens constructif à l'expérience, aux interactions que nous nommons sans cesse et nécessairement, donc à notre histoire et à notre vie, plus exactement à l'histoire et à la vie de tous. Et ce n'est pas seulement l'information qu'il nous est donné et demandé d'acquérir ainsi, c'est aussi la Sagesse. Nous rejoignons ainsi Bergson, aux yeux de qui l'univers doit être à chacun de nous « une machine à faire des dieux ». Ce n'est donc pas, bien loin de là, une tâche indifférente que d'avoir à feuilleter attentivement par toute notre vie, le grand livre du cosmos.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- H. REICHENBACH. — *The Direction of Time*, University of California Press, Berkeley, 1956.
- G.J. WITHROW. — *The Natural Philosophy of Time*, Nelson, London, 1961.
- A. GRUNBAUM. — *Philosophical Problems of Space and Time*, Knopf, New York, 1963.
- O. COSTA DE BEAUREGARD. — *Le second principe de la science du temps*, Ed. du Seuil, Paris, 1963.
- W. BUCHEL. — *Philosophische Probleme der Physik*, Herder, Freiburg, 1965.