

OLIVIER COSTA DE BEAUREGARD

Maitre de recherches au CNRS

Sur l'équivalence entre information et entropie

UN DILEMME CLASSIQUE DE LA MÉCANIQUE STATISTIQUE

Il y a, à la base de la Mécanique statistique classique, un paradoxe épistémologique qui n'a jamais été complètement surmonté : celui qui résulte de la volonté de considérer comme *subjectif* le hasard qui est à la base de la théorie (un « hasard d'ignorance »), et comme *objectives* les conclusions de cette même théorie touchant la croissance de l'entropie et tout ce qui s'y rattache. Il est en effet philosophiquement évident que les causes et les conséquences (entendues en un sens « métaphysique », strictement intemporel) doivent être homogènes entre elles quant à l'objectivité et à la subjectivité.

Parmi les auteurs ayant ressenti ce paradoxe citons d'abord Poincaré* : « Vous me demandez de vous prédire les phénomènes qui vont se produire. Si, par malheur, je connaissais les lois de ces phénomènes, je ne pourrais y arriver que par des calculs inextricables et je devrais renoncer à vous répondre ; mais, comme j'ai la chance de les ignorer, je vais vous répondre tout de suite. Et, ce qu'il y a de plus extraordinaire, ma réponse sera juste. *Il faut donc bien* (conclut Poincaré et soulignons nous) *que le hasard soit autre chose que le nom que nous donnons à notre ignorance* ».

A. Landé**, notamment, a écrit tout récemment à ce sujet « N'oublions pas que la coopération des événements individuels dans un ensemble statistique est un fait vraiment inattendu. Je ne

puis pas voir comment et pourquoi la théorie quantique (est supposée) avoir introduit ici une situation nouvelle avec de profondes implications philosophiques. Reconnaissons plutôt ce que les épistémologues ont vu depuis longtemps, qu'il n'y a pas d'*explication causale* à l'harmonie entre la dispersion statistique et la théorie mathématique du hasard ».

Les auteurs classiques ont cherché la clé du « passage de la probabilité subjective à la probabilité objective » dans un appel au *principe de raison suffisante*, et les beaux textes de P. Lévy* sont à cet égard très caractéristiques. Mais que stipule en fait le principe de raison suffisante tel qu'on l'applique ici ? que l'hétérogène ne peut pas sortir *sans raison* de l'homogène. C'est substantiellement la conclusion même que l'on prétend trouver en terme du raisonnement et du calcul : que l'improbable ne peut pas sortir spontanément du probable**.

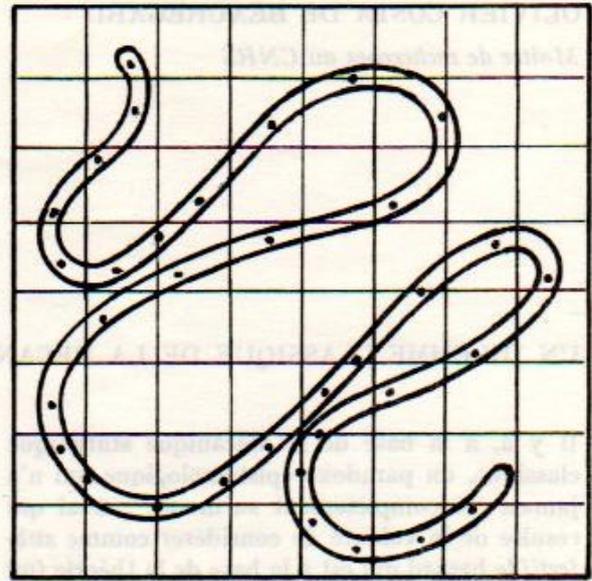
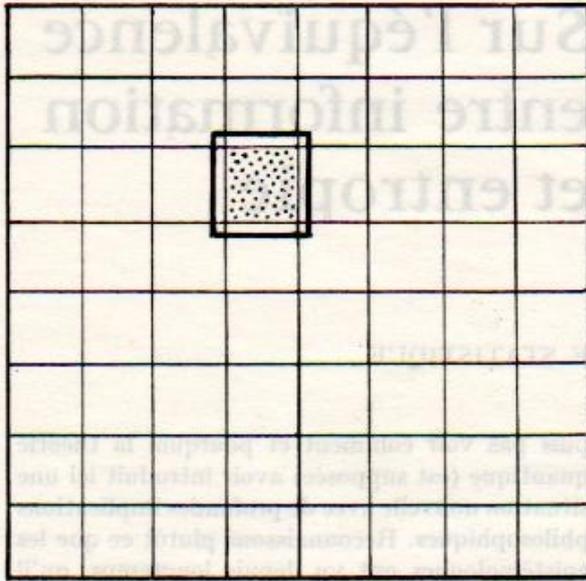
Essayons d'y voir un peu plus clair. Dans les problèmes thermodynamiques où un système est caractérisé par une énergie, un volume, une température, une pression, etc..., il est d'abord manifeste que tous les observateurs utilisant ces données auront *une même ignorance* de l'état fin. Il s'agit donc en tous cas d'un *hasard intersubjectif*. Mais il y a plus. Comme Landé, après d'autres, y insiste, *ces observateurs savent en commun quelque chose de positif* : s'ils ignorent

* Calcul des probabilités. Introduction, III ; Science et Méthode, chap. IV, § 1.

** From dualism to unity in Quantum Physics chap. I, § 2. Cambridge, 1960.

* Calcul des probabilités, 1^{re} Partie, chap. II, n° 10 et III n° 18. Paris, Gauthier-Villars, 1925.

** Voir aussi à ce sujet Poincaré, La Science et l'Hypothèse, Chap. XI § III.



Néguentropie et information, ou la dialectique du tas concentré et du tas dispersé (le nombre de grains et les surfaces occupées sont les mêmes dans les deux cas).

le détail des lois fines ils connaissent *certain* caractères collectifs* de ces lois ; par exemple, que chaque cm^3 d'un gaz contenu dans un dm^3 contient en moyenne le même nombre de molécules. Cette connaissance positive peut bien être *a priori* plausible ; elle ne sera jamais certaine qu'*a posteriori*, lorsqu'elle se trouvera vérifiée, conjointement avec les autres postulats, par le succès statistique de la théorie. Autrement dit, le principe de raison suffisante n'est jamais appliqué à meilleur escient que lorsqu'on s'est assuré empiriquement que rien n'a été oublié ; et le succès même d'une théorie statistique implique que les lois de dispersion sont objectivement réalisées. Écoutons à ce sujet L. Brillouin : « L'entropie est, en général, considérée comme exprimant l'état de désordre d'un système physique. D'une façon plus précise, on peut dire que l'entropie mesure le manque d'information sur la véritable structure du système. Ce manque d'information implique la possibilité d'une grande variété de structures micro-

scopiques distinctes qui sont, en pratique, impossibles à distinguer les unes des autres. Puisque l'une quelconque de ces microstructures peut exister réellement, le manque d'information correspond à un désordre réel dans les degrés de liberté cachés »*.

Maintenant, supposons qu'un expérimentateur particulier cherche à en savoir davantage que la précédente collectivité des observateurs macroscopiques : ce sera par exemple ce démon de Maxwell pourvu par Demers et Brillouin d'une petite lampe torche, capable d'acquérir de l'information fine sur le système. Ce surcroît d'information fine peut-il être purement et simplement comptabilisé comme une néguentropie, ainsi que le voudrait la théorie du hasard d'ignorance précisée en termes cybernétiques ? Pas tout à fait, comme un exemple plus simple va le faire comprendre.

Soit un échiquier de 64 cases de 4 cms de côté, et un lot de 640 grains de blé. S'ils sont tous dans une même case nous dirons qu'il forment

* Caractères qui comportent bien plus d'arbitraire qu'on ne le croirait à première vue : nous songeons ici aux très pénétrantes remarques de Poincaré : Calcul des Probabilités, Introduction, V, chap. VII, nos 92, 93 ; chap. XXVI, nos 19, 20. Voir aussi P. Lévy, Calcul des probabilités, 1^{re} Partie, chap. III, nos 19, 20.

* La science et la théorie de l'information, Paris, Masson, 1959, p. 155. La dernière phrase est soulignée par nous.

un tas, et c'est un cas improbable dont on sait chiffrer la rareté. S'ils sont uniformément étalés en moyenne sur l'échiquier, c'est le cas le plus probable correspondant à l'entropie maxima. Mais un observateur méticuleux armé d'une règle graduée à divisions fines et d'une source d'éclairage peut localiser la position de chaque grain beaucoup plus précisément qu'à la simple inspection de l'échiquier ; admettons que cette précision soit suffisante pour lui permettre de dessiner une surface de 16 cm² (comme une case de l'échiquier) contenant tous les grains ; dans le cas où cette surface serait connexe et sans chevauchements, ce serait un ruban très mince et très sinueux serpentant sur tout l'échiquier. Admettant toujours l'équiprobabilité *a priori* d'occupation des aires, l'entropie ainsi définie sera juste égale à celle d'un cas où le tas était concentré dans une case ; et pourtant les deux situations sont *objectivement* bien différentes ; un tas concentré n'est pas du tout la même chose que du sable étalé, même si l'on parvient à connaître très exactement les positions des grains dispersés. Et c'est un fait indubitablement *objectif* qu'il y a de par le monde l'équivalent de beaucoup de tas de sable qui se dispersent au vent, indépendamment du fait qu'il y ait ou non des observateurs pour s'intéresser au phénomène. Ceci revient à dire qu'il y a des façons plus ou moins physiques de définir les *éléments d'extension en phase* d'un problème statistique ; c'est pour cela que l'important *théorème de Liouville* ne suffit pas à épuiser ces problèmes, et que la théorie ergodique doit se donner des cellules d'extension en phase *finies* et *indépendantes* de l'évolution intrinsèque du système.

LE SENS MODERNE ET LE SENS ARISTOTÉLICHIEN DU MOT INFORMATION

La Cybernétique, ce « carrefour des sciences » comme l'a écrit L. Couffignal* et comme l'a conçue N. Wiener**, a mis en évidence une importante vérité jusqu'alors insoupçonnée et de très grande conséquence en philosophie natu-

* Encyclopédie française, tome I, supplément n° 1.
** Cybernetics, Paris, Hermann, 1958.

Une présentation amusante de cette question a été donnée par M. R. Schafroth dans une récente et très brillante étude sur le *concept de température** : « En fait il n'est pas si facile de définir la notion de *désordre*. Il y a des scientifiques qui empilent papiers et livres apparemment n'importe comment sur leurs étagères, et qui pourtant savent parfaitement retrouver le document voulu. Si quelqu'un restitue l'apparence de l'ordre sur l'étagère, le malheureux possesseur des documents sera peut-être incapable de retrouver quoi que ce soit. Il est évident dans ce cas que l'apparent désordre était de l'ordre, et *vice-versa*. Cet exemple illustre comment, cherchant à définir plus précisément le *désordre*, nous sommes renvoyés à la conception d'un *manque d'information* ».

Mais les cybernéticiens insistent sur le renouvellement qu'ils apportent à ces vieux problèmes. Acquérir de l'information, disent-ils, c'est devenir capable de remettre le système dans un état plus ordonné que celui où on l'a trouvé ; l'exemple classique est justement ici le démon de Maxwell revu par Szilard, Demers, Brillouin, et capable de replacer à son gré les molécules de son choix dans des cases spécifiées à l'avance. Cette fois, il ne s'agit donc plus seulement de trouver où sont les molécules du gaz ou les grains de blé, mais, partant de là, de les redistribuer dans les casiers ou les cases primitivement donnés. *C'est à cette condition seulement que l'information acquise équivaut effectivement à de la négentropie*. Mais cette remarque mène beaucoup plus loin qu'il ne le semble à première vue — beaucoup plus loin qu'à notre connaissance, aucun cybernéticien ne l'a dit.

relle : a) l'*information* qu'on peut acquérir sur un système physique au moyen d'une expérience n'est pas gratuite, mais doit être payée par la dépense d'une *négentropie* au moins égale ; « il est très surprenant qu'un résultat aussi

* Selected Lectures in Modern Physics, Londres, Macmillan, 1960, p. 268.

général soit demeuré inaperçu jusqu'à maintenant », écrit L. Brillouin* ; on y reviendra. Réciproquement, l'information supplémentaire acquise sur l'état d'un système peut être transformée en *néguentropie*, comme on l'a dit brièvement à la fin de la précédente rubrique (exemple : démon de Maxwell), et la prise de conscience de ce fait est peut-être plus surprenante encore que celle du précédent, comme la suite va le faire apparaître.

Ainsi, la Cybernétique est amenée à définir une sorte de doublure subjective de la *néguentropie*, l'information, et à admettre la possibilité de la transition à double sens

néguentropie \rightleftharpoons *information*.

Remarquons bien que la signification du mot *information* n'est pas la même dans les deux sens : dans la transition directe *néguentropie* \rightarrow *information*, information signifie *acquisition de connaissance* ; c'est le sens moderne courant, et la transition correspondante apparaît comme le processus élémentaire de l'*observation*. Dans la transition réciproque *information* \rightarrow *néguentropie*, information signifie *pouvoir d'organisation* ; c'est l'ancien sens aristotélicien, et la transition correspondante apparaît comme le processus élémentaire de l'*action*. Admettre avec la Cybernétique la *réciprocité de la transition néguentropie* \rightleftharpoons *information*, c'est admettre *ipso facto* l'équivalence des deux significations, moderne et aristotélicienne, du mot *information***.

Examinons maintenant quelques-unes des expériences de pensée illustrant la conversion effective de la *néguentropie* en information et de l'information en *néguentropie*. Comme exemples typiques du premier processus, citons la mesure d'une longueur au moyen d'une règle graduée ou la lecture d'une bande codée en langage binaire, discutés par L. Brillouin***.

La *néguentropie* $\Delta N = -\Delta S$ nécessaire à l'acquisition de l'information d'origine expérimentale (premier exemple) ou « conservée » (second exemple) pourra provenir d'une source lumi-

neuse ; des photons seront diffusés ou transmis par la règle ou la bande ; quelques-uns seront reçus par l'œil de l'observateur, qui acquerra ainsi l'information ΔI recherchée ; l'on s'assure que le *principe de Carnot généralisé*

$$\Delta N + \Delta I \leq 0$$

est respecté. Ces descriptions, du départ des photons de la source lumineuse à leur arrivée dans l'œil de l'observateur, sont manifestement très fidèles ; étant admis, avec toute la science classique, que la transformation de l'impression sensorielle en conscience cognitive ne pose pas de problème (tout au moins pas de problème dont on se préoccupe), l'ensemble de l'argumentation est convaincant et entraîne l'adhésion.

Il en va bien autrement des expériences de pensée destinées à illustrer la transition réciproque de l'information en *néguentropie*, dont l'exemple type est le « démon de Maxwell » revu par Smoluchowski (1912), Szilard (1929), Lewis (1930), Demers (1944-5), Brillouin (1949-50).

Il est manifeste, tout d'abord, que le problème essentiel doit être posé par un physicien, et à l'échelle microscopique. Lorsqu'un ingénieur des télécommunications ou des calculatrices parle d'infuser de la *néguentropie* dans une machine, par exemple en appuyant sur des touches, le problème essentiel est escamoté dans l'immense inconnu de l'organisme humain. D'où vient en effet l'énergie, petite, qui permet d'actionner les touches et, éventuellement, de contrôler de très grandes énergies, par exemple dans le tir d'une pièce antiaérienne ? C'est là un vieux problème, sur lequel la macro-cybernétique n'apporte aucune lumière.

Mais jusqu'ici la micro-cybernétique n'en a guère apporté davantage, car tous les soi-disant mécanismes proposés pour reconvertir l'information en *néguentropie* recourent, par une sorte de fatalité, à ce fameux volet mobile à la Maxwell qui doit être supposé parfaitement impénétrable, sans masse et sans frottement, sans capacité calorifique non plus (Smoluchowski), car son agitation thermique l'empêcherait alors de jouer son rôle. En bref, comme

* La Science et la théorie de l'information, Paris, Masson, 1959, p. 162.

** Même remarque chez R. Ruyer, La Cybernétique et l'origine de l'information, Paris, Flammarion, 1954.

*** Op. cit. p. 179, 182, 197, 199, 255.

feu l'éther lumineux rendu au néant par Einstein, le volet mobile à la Maxwell est un hybride de matériel et d'immatériel, une chimère impensable et irréalisable. Si peu qu'on lui restitue de masse au nom de son impénétrabilité, l'on se retrouve soumis à la fatalité d'avoir à contrôler l'entropie par le moyen de l'énergie. Tant que la Cybernétique n'aura pas su totalement affranchir du *premier principe* le contrôle du *second principe*, ses plus beaux discours relatifs à la conversion de l'information en néguentropie resteront vains.

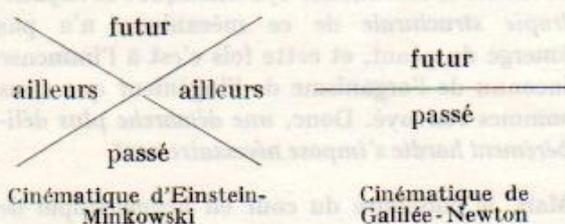
Faut-il donner un exemple de ces discours qui ne devraient abuser personne? Le choix est facile; nous ferons le nôtre dans une étude, par ailleurs excellente, de F. Bonsack*: «C'est en créant ou supprimant les conditions nécessaires à une réaction chimique que nous avons la possibilité d'agir sur le déroulement des phénomènes... Il y

a aussi un aspect énergétique de la cause cybernétique, car la manœuvre des vannes, des interrupteurs, la production des conditions nécessaires à une réaction chimique se font à l'aide d'une certaine quantité d'énergie (qui) peut être appelée *énergie de commande* ou *énergie cybernétique*. Il est indispensable que (cette) énergie soit dégradée sous forme de chaleur, car il faut pouvoir *arrêter* l'organe de commande dans la position désirée. On pourrait penser qu'il suffit de mettre un arrêt, mais le problème n'est que repoussé, car il faut alors arrêter l'arrêt ». Fort bien; mais *d'où vient* l'énergie de commande? N'est il pas vrai que de ce côté aussi il faudra *démarrer le démarreur*? F. Bonsack il est vrai, déclarait au début de son étude vouloir rester au niveau du sens commun; mais le sens commun, résidu d'expériences de la physique de l'échelle humaine, suffit-il à résoudre *au fond* les graves problèmes soulevés?

CE QUE PEUT DISSIMULER LA VALEUR TRES GRANDE OU TRES PETITE D'UNE CONSTANTE UNIVERSELLE

Deux exemples empruntés à la Physique du 20^e siècle, Relativité et Quanta, le feront bien voir.

Exprimée en unités de longueur et de temps « pratiques » à l'échelle humaine, disons le centimètre et la seconde, la constante *c* d'Einstein est très grande ($\approx 3.10^{10}$ cm: sec). Sur un diagramme d'espace-temps de Minkowski référé à ces unités, le cône *isotrope* apparaît très aplati: la région *ailleurs* est comme écrasée entre les



régions *passé* et *futur*. Si alors, avec les classiques on fait $c \rightarrow \infty$ dans la formule

$$\Delta x = \pm c \Delta t$$

la région *ailleurs* est complètement évacuée, et l'on retombe sur le temps absolu de Galilée et de Newton.

De même, la valeur c.g.s. de la constante *h* de Planck est très petite ($\approx 6,6. 10^{27}$ c.g.s.). Si, dans la relation fondamentale entre énergie et fréquence

$$W = h \nu$$

l'on fait avec les classiques $h \rightarrow 0$, deux éventualités sont à considérer: *W* constant, $\nu \rightarrow \infty$, et ν constant, $W \rightarrow 0$. Dans le premier cas l'on évacue l'aspect ondulatoire de la Mécanique et, dans le second, l'aspect quantifié de l'Optique. Il est sérieusement permis de se demander si quelque chose d'analogue ne s'est pas produit au stade précybernétique de la Physique.

L'unité d'entropie couramment utilisée, comme adaptée à la Physique de l'échelle humaine, est l'unité thermodynamique c.g.s. telle que

$$\Delta S = k \ln W,$$

où *W* désigne la probabilité de l'état macro-

* Studia philosophica 16, 1956, p. 84.

scopique considéré et k la « constante de Boltzmann »*.

Par ailleurs, l'unité naturelle de l'information liée à un sondage dans les complexions réalisant le précédent état est l'unité binaire ou *bit*, telle que**

$$\Delta I = -\ln W / \ln 2 ;$$

avec ces unités, l'une et l'autre « anthropomorphiques », la loi d'équivalence cybernétique entre information et entropie s'écrit

$$-\Delta S \equiv \Delta N = k \ln 2 \cdot \Delta I, k \approx 10^{-16} \text{ c.g.s.};$$

l'on voit ainsi qu'en « monnaie du change » anthropomorphique, *acquérir de l'information ne coûte pas cher en néguentropie, tandis que produire de la néguentropie coûte très cher en information*. Faire implicitement $k \rightarrow 0$ comme au stade pré-cybernétique de la Physique, c'est admettre du coup 1° que l'acquisition de l'information est gratuite, 2° que l'action efficace, interprétée comme une conversion d'information (aristotélicienne) en néguentropie, est impossible. Ce sont précisément là les deux thèses maîtresses de la théorie de la conscience épiphénomène, et l'on comprend à présent que ce n'est que pas par hasard qu'elles se trouvaient liées.

Galor*** et Brillouin****, notamment, ont insisté sur l'importance de la découverte du coût en néguentropie d'une acquisition d'information : « On ne peut rien avoir pour rien, pas même une information » ; « la quantité de néguentropie par bit est finie, mais si petite qu'elle a été complètement négligée à ce jour ». Il y a dans cet ordre de grandeur une circonstance capitale pour la vie sociale, ou même simplement biologique. Capitale aussi pour l'expérimentation en Physique : Brillouin***** montre par exemple qu'une mesure interférométrique de longueur implique un véritable gaspillage de néguentropie ; celui-ci est justifié et par le vil cours de la néguentropie, et par l'éventuelle valeur de l'information acquise.

* Qui en fait a été introduite par Planck.

** Voir par exemple L. Brillouin, *op. cit.*, p. 2 et 147-151.

*** *Mit lectures*, 1951.

**** *Op. cit.* p. 257.

***** *Op. cit.* p. 202.

L'auteur de ces lignes pense que c'est l'autre aspect de la découverte cybernétique qui n'a pas encore été pleinement évalué : la conversion de l'information en néguentropie dans le rapport $1/k \ln 2$ Brillouin* fait bien observer que l'information contenue dans un schéma de connexions électriques peut être très élevée (10^8 pour le réseau téléphonique américain) sans que pourtant cette néguentropie structurale dégrève appréciablement le bilan d'entropie ($\sim 10^8$ unités thermodynamiques). Il ajoute même la remarque significative que peut être l'ordre de grandeur change du tout au tout avec l'organisation d'un être vivant ; mais à notre avis, pas plus que les autres théoriciens de la Cybernétique, il ne soulève le problème-clé.

Ce problème-clé, c'est le mécanisme de la conversion de l'information en néguentropie. Les auteurs, à peu près sans exception, l'ont pensé en termes du « démon de Maxwell » armé de la petite cloison mobile aux propriétés paradoxales qu'on a dites. Nous pensons qu'il est temps à présent d'exorciser non pas tant le démon de Maxwell que son volet mobile, un peu comme Einstein a exorcisé l'éther lumineux.

Que cache en effet ce volet mobile ? Si le démon est imaginé sur une base anthropomorphique (et c'est un peu paradoxal pour un si petit être) le mécanisme de son action efficace est repoussé au-delà du volet, dans son propre micro-organisme ; c'est la régression à l'infini qui ne résout rien. Que si au contraire on trouve au démon de Maxwell un successeur cybernétique le problème n'est résolu qu'en apparence, car qui a conçu et monté le mécanisme cybernétique ? la néguentropie structurale de ce mécanisme n'a pas émergé du néant, et cette fois c'est à l'immense inconnu de l'organisme de l'ingénieur que nous sommes renvoyé. Donc, une démarche plus délibérément hardie s'impose nécessairement.

Mais, le corollaire du coût en néguentropie de l'information cognitive n'est-il pas précisément le coût de la néguentropie en information aristotélicienne ? Puisque nous avons pris en défaut, avec tous les cybernéticiens, la théorie

* *Op. cit.* p. 278-280.

de la conscience épiphénomène sur le premier point, *n'est-il pas simplement logique d'admettre qu'elle est en défaut sur le second point aussi?* Si après tout le *vrai mécanisme élémentaire* de l'action libre n'était autre qu'une pondération à la Bayes, *mais en prédiction*, des probabilités élémentaires de la Physique?

L'on peut montrer* que le principe d'exclusion de la rétrodiction aveugle de Bayes, le principe de l'entropie croissante, et le principe des ondes *quantifiées* retardées ne sont que des spécifications de plus en plus particulières d'un seul et unique principe d'irréversibilité de la matière inerte. Mais alors, le postulat que nous venons de poser équivaut à lier les processus *syntro-*

NEUROPHYSIOLOGIE ET PSYCHOLOGIE

En bref, *il nous paraît que la réciprocité même de la transition néguentropie \rightleftharpoons information, admise à la base de la Cybernétique, implique une symétrie réelle des deux processus de la prise de connaissance et de l'action efficace.*

Mais, après tout, est-ce là une bien grande découverte, ou ne serait-ce pas plutôt une *redécouverte technique* d'une vérité par ailleurs manifeste?

Point n'est besoin d'être un grand expert en physiologie nerveuse pour savoir que l'histologie interne et que la disposition d'ensemble des nerfs sensitifs et des nerfs moteurs sont très analogues. Cette quasi-symétrie ne doit certes pas être prise à la légère. Il est communément admis que le processus de la prise de conscience cognitive doit intéresser principalement la région avoisinant les extrémités centrales des nerfs sensitifs. Mais alors, est-ce que la quasi-symétrie même de l'organisme nerveux n'incline pas à associer de manière analogue le processus de la conscience volitive avec la région avoisinant les départs des nerfs moteurs?

Quant à une éventuelle vérification de notre précédente hypothèse, elle consisterait, semble-

* Voir notamment notre article *in Cahiers de Physique* 96, 1958, p. 317 et notre note aux *Comptes Rendus* 251, 1960, p. 2484.

piques répondant au schème *information \rightarrow néguentropie* aux actions avancées, comme les processus *entropiques* répondant au schème de la croissance « inerte » de l'entropie le sont de leur côté aux actions retardées. C'était l'idée de L. Fantappiè*; nous la croyons juste, à ceci près que deux éléments essentiels n'étaient pas mis en lumière : la liaison effective du retard (de l'avance) des ondes à la croissance (à la décroissance) de l'entropie ; et la disparité des cours « anthropomorphiques » de l'information et de l'entropie. C'est essentiellement du fait de cette disparité que le phénomène de l'observation (*néguentropie \rightarrow information*) est si patent et le phénomène de l'action efficace (*information \rightarrow néguentropie*) si discret et si caché.

BRIÈVE CONCLUSION

t-il, à rechercher un type de système quantique à deux états possibles intercalé dans le système nerveux central, et à constater que les probabilités de transition observées peuvent s'écarter dans les deux sens de celles calculées *a priori*.

Tournons-nous à présent vers la psychologie. Tout l'édifice de la science actuelle, *qui est une science observatrice*, repose en fin de compte sur l'acceptation du témoignage de la conscience cognitive. Bien sûr, il faut faire la part des aberrations des instruments (par exemple optiques) et des sens (par exemple, contraste des couleurs). Mais, ceci étant fait, *le témoignage sensitif est finalement accepté; qu'on le supprime, et tout l'édifice de notre science s'effondre.*

Mais le témoignage de la conscience volitive n'est-il pas aussi ingénument clair que celui de la conscience cognitive? L'on peut même aller un peu plus loin, et faire état d'expériences simples qui *objectivent* cette vérité d'abord subjective. Non seulement j'ai conscience de pouvoir « à volonté » lever la main, mais je puis le prouver à qui voudra, disons Paul. Je conviens avec Paul que j'agirai ou n'agirai pas suivant qu'il aura choisi de dire *blanc* ou *noir*. Il va sans dire que l'expérience réussit. Dira-t-on que cette

* Principi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologica, Roma, 1944.

convention échangée entre Paul et moi a créé une liaison cybernétique entre la décision exprimée de Paul et mon action? ce serait dépasser les bornes de l'in vraisemblable. Considérons aussi le cas d'un malade hypertendu à qui le médecin prescrit de se refuser aux soucis et aux émotions : il dépend de ce malade de ne pas faire monter sa tension en suivant l'avis du médecin ; il y a là un effet psycho-pondéromoteur très caractérisé et parfaitement observable.

Bien entendu, *tout comme la conscience cognitive surestime l'objectivité de son témoignage, la conscience volitive surestime la liberté de son*

BRÈVE CONCLUSION

« La théorie de la relativité a semblé, au départ, ne conduire qu'à de très faibles corrections de la mécanique classique. Les applications récentes de l'énergie nucléaire démontrent l'importance capitale de la relation masse-énergie. On peut donc espérer que la relation information-entropie occupera, tôt ou tard, une place de premier plan et que nous apprendrons à l'utiliser dans toute sa valeur »*.

La théorie de l'information, avec sa dichotomie essentielle *oui-non*, au sens de la prise de connaissance *mais aussi au sens du pouvoir d'organisation*, est à nos yeux une théorie d'indéterminisme essentiel et la seule qui nous semble en plein accord avec les implications profondes de l'épi-

* L. Brillouin, *op. cit.* p. 284 et 280.

efficiencie. Mais, ceci reconnu, pourquoi refuser à la conscience volitive ce que science et philosophie accordent sans discussion à la conscience cognitive : la véracité en dernier ressort de son témoignage?

Ce refus, les théories classiques du déterminisme absolu, de la conscience épiphénomène et « girouette de Spinoza, » l'avaient énoncé dans un audacieux passage à la limite. Nous pensons avoir montré, par tout ce qui précède, que cette solution « pré-cybernétique » de la théorie du cosmos est à bien des égards très peu vraisemblable ; la dialectique du *bil*, de l'alternative *oui ou non*, nous semble bien plus séduisante.

stémologie du Calcul des probabilités et de la Mécanique statistique.

Bien sûr, le principe de Carnot reste le maître incontesté de la situation globale, et l'univers est cet omniprésent puits de néguentropie décrit par la Thermodynamique en ses multiples applications. Pourtant la présence, au sein de l'espace-temps, de sources de néguentropie hautement caractérisées (par exemple, en phylogénèse biologique) pose à nos yeux un grand problème. L'immense hémorragie de la néguentropie universelle semble ne pas être absolument sans recours, puisqu'on en dicerne des résurgences. Et l'étonnant, que nous fait entrevoir la Cybernétique, est que la néguentropie disparue peut faire place à sa forme potentielle, l'*information*, qui participe de la nature d'une représentation.