

Traitement quantique dans les systèmes cérébraux et nature spirituelle de l'humanité

KARL H. PRIBRAM

Les extrémistes

Dans toutes les entreprises humaines, les propositions qui font sensation et mobilisent par effet de mode l'attention générale suscitent une division de l'opinion. Les thèses sur la nature de l'esprit et en particulier de ses aspects conscients ne font pas exception à la règle. Daniel Dennet [1991]* avance modestement la sienne dans un ouvrage intitulé *La Conscience expliquée* où il tente de rendre compte de l'expérience humaine en substituant à la métaphore cartésienne du théâtre (la « scène » shakespearienne ?) celle d'une pluralité de récits. Ceux d'entre nous qui sont plus sensibles aux approches faisant appel à la vue et à la kinesthésie, outre la parole, préféreront peut-être s'en tenir à Descartes et Shakespeare. La pluralité des processus mentaux est cependant également soulignée par Marvin Minsky [1986] dans *Society of Mind (Société de l'esprit)*. Ma question est la suivante : ces ouvrages ont-ils modifié sensiblement la proposition fondamentale formulée par Franz Gall à la fin du XVIII^e siècle, à savoir que la gamme des « facultés de l'esprit » peut être mise en corrélation avec un éventail correspondant des systèmes cérébraux ? Certes, la description détaillée de cette correspondance a depuis lors été considérablement enrichie par deux siècles de recherche et d'observation. Mais, sur le plan philosophique, qu'y a-t-il de nouveau ?

Une position diamétralement opposée est défendue par les tenants d'un « matérialisme éliminateur » pour lesquels la psy-

* Les références des ouvrages cités sont donnés p. 74.

chologie populaire — la sagesse et la folie intégrées au cours des âges dans le langage et l'expression culturelle — doit être éliminée en tant qu'explication scientifique, au profit d'une explication neurale qui n'est pas sans rappeler les thèses du behaviorisme. Stephen Stich a apporté sa pierre à cette entreprise dans un ouvrage intitulé *From Folk Psychology to Cognitive Sciences (De la psychologie populaire à la science cognitive)* [1986], ayant pour sous-titre *The Case against Belief (Procès contre la foi)*. Les arguments présentés à l'appui de ce matérialisme poussé à l'extrême sont complexes mais il me semble qu'ils ne tiennent pas compte de la notion d'échelle ou de niveau. Comment peut-on, aujourd'hui, feindre d'ignorer que les partisans du nettoyage ethnique en ex-Yougoslavie n'ont d'autre motivation que leur foi ? Les protagonistes, en l'occurrence, ne sont divisés que par leurs croyances orthodoxes, catholiques ou islamiques. On peut évidemment déterminer les origines et les conséquences de ces différences et démontrer que beaucoup d'entre elles sont d'ordre matériel. Mais, pour emprunter une comparaison au traitement de texte réalisé par mon ordinateur pour écrire ceci, il serait tout aussi long de décrire les particularisations matérielles de l'histoire culturelle que d'exposer la teneur de cet essai en langage machine. Chaque niveau de description a sa valeur qui est fonction de l'usage auquel la description est destinée.

Dualismes scientifiques : le mental et le matériel

L'attention prêtée aux niveaux de l'analyse aide à résoudre nombre des énigmes jusqu'à présent irréductibles qui entourent la relation — l'interface — entre esprit et cerveau. Dans le monde ordinaire des apparences, il ne fait aucun doute que les expériences mentales telles que ressenties par l'être humain peuvent être nettement distinguées du contenu de ces expériences. Franz Clemens Brentano parle à ce sujet d'« intentionnalité » (ou d'inexistence intentionnelle), certaines conclusions en ont été tirées quant à la nature de la réalité [Brentano, 1973, Chisholm, 1960]. La question est souvent formulée comme suit : Mes perceptions (mes expériences phénoménales) sont-elles le réel, ou bien est-ce le contenu de ces perceptions qui constitue le monde « réel » ? Mes expériences phénoménales sont mentales ; le monde tel qu'il m'apparaît est matériel. Je peux soit don-

ner la primauté à mon expérience et devenir phénoménologue, soit donner la primauté au contenu de l'expérience et devenir matérialiste. Mais je peux aussi ne donner la primauté ni à l'une ni à l'autre et attester de la nature duale de la réalité.

Le matérialisme et la phénoménologie ne se heurtent à des difficultés que lorsqu'ils essaient de se nier l'un l'autre. Tant qu'il n'y va que d'une question de primauté, on peut faire que l'un comme l'autre forment une thèse cohérente. Après tout, nos expériences sont premières et l'empirisme n'est pas hostile à la réalité d'un monde matériel. En outre, il semble bien que nous fassions l'expérience de quelque chose ; il est donc fort possible que nos expériences en viennent à être organisées par ce quelque chose de réel (matériel) (voir Bunge [1980], qui développe cette thèse de manière convaincante).

Toutefois, si l'on accepte cette position modérée vis-à-vis de l'esprit et de la matière, on se heurte immédiatement à toute une série de problèmes qui tiennent à son caractère dualiste. Le contenu de la perception est-il « réellement » organisé par l'expérience de celui qui le perçoit ? Cette expérience est-elle à son tour organisée par les fonctions cérébrales, les données d'entrée sensorielles et les énergies qui affectent les sens ? Une description complète des fonctions cérébrales d'un organisme décrirait-elle aussi l'expérience de cet organisme ? Dans l'affirmative, ne faut-il pas s'en tenir aux descriptions matérielles du cerveau, des sens et des énergies ? Les descriptions de l'expérience ajoutent-elles du moins quelque chose aux descriptions matérielles ? L'inverse ne peut-il être également vrai ? Qu'est-ce que les descriptions matérielles du cerveau, des sens et des énergies ajoutent à ce que l'expérience nous révèle avec tant de richesse ?

Je crois qu'il existe aujourd'hui des réponses à ces questions, alors qu'il n'en existait aucune il y a seulement quelques années. C'est en dissipant, par un travail de « démontage », les confusions d'ordre conceptuel et en montrant où, précisément, chaque conceptualisation saisit une partie du tout que forme la vérité qu'il a été possible de trouver ces réponses.

L'analyse sémantique fait apparaître que les descripteurs du cerveau, des sens et des sources d'énergie sont déduits de l'analyse de l'expérience en ses composantes. Celles-ci sont rattachées à l'organisme et son environnement (biologique et physique ou social), et chaque composante peut être à son tour divisée en sous-composantes jusqu'à atteindre les niveaux quan-

tique et nucléaire de l'analyse. Cette méthode d'analyse de haut en bas dans le cadre d'une hiérarchie de systèmes est la démarche habituelle des sciences descriptives : des causes et des effets sont repérés à l'intérieur des systèmes ; lorsque des incohérences sont constatées, il est fait appel aux principes statistiques et à la stochastique. Les scientifiques sont devenus experts en ces méthodes et les manient aisément.

Le langage des processus mentaux procède de considérations différentes. Comme dans les sciences descriptives, les mots trouvent leur origine dans l'expérience. Mais cette fois l'expérience est validée consensuellement. L'expérience faite selon un mode sensoriel est comparée à celle faite selon un autre mode. Une validation s'effectue ensuite par comparaison de l'expérience du sujet avec celle d'un autre individu. Une petite fille montre un cheval du doigt. Jusque-là, sa mère l'a autorisée à dire le mot « vache » chaque fois qu'elle montrait un animal. Mais le moment est venu d'être plus précis et l'expérience du cheval est différenciée, par sa validation, de celle de la vache. Le langage du mental s'élabore à partir de ces validations ascendantes au sein d'une hiérarchie de systèmes.

J'expose ailleurs en détail les différences qu'implique, en termes de démarche scientifique, cette orientation de bas en haut ou vers l'extérieur [Pribram, 1965]. Celle-ci ne se limite certainement pas au seul domaine de la psychologie. Quand Albert Einstein a énoncé ses théories de la Relativité restreinte et généralisée, il a adopté une approche ascendante dans l'ensemble des systèmes physiques hiérarchiquement organisés. Les thèses relativistes résultantes ne sont pas moins applicables aux conceptualisations mentales qu'aux conceptualisations physiques. Ce sont ces relativismes que les existentialistes et les phénoménologues s'efforcent sans cesse de formuler en principes cohérents. Ma conviction est qu'ils n'y parviendront que dans la mesure où ils auront mis au point les techniques de l'analyse structurale (de « déconstruction »). Mais les analyses structurées sont souvent tributaires de l'application pratique lorsqu'il s'agit d'en clarifier les complexités. Pour détestables que soient l'ordinateur et autres machines pour le philosophe et le psychologue d'obéissance existentielle-phénoménale, il n'en reste pas moins que ces outils peuvent à cet égard leur rendre de grands services dans leur mode d'investigation.

Si l'analyse ci-dessus est juste, un certain dualisme peut être considéré comme valable, sous réserve de la remarque d'avertis-

sement suivante : cette forme de dualisme concerne le domaine quotidien des apparences, des expériences ordinaires. À partir de ces expériences ordinaires, deux modes de conceptualisation ont été élaborés. L'un d'eux fonctionne de haut en bas dans le cadre d'une hiérarchie de systèmes où l'expérience est analysée en ses composantes et où des relations hiérarchiques et de cause à effet sont établies entre ces composantes. L'autre fonctionne de bas en haut en direction d'autres organismes, pour parvenir à une validation consensuelle des expériences par leur comparaison et leur partage.

Deux images inversées — deux isomères optiques en quelque sorte — sont ainsi construites à partir de l'expérience : l'une est dite matérielle et l'autre mentale. Tout comme les isomères optiques, en dépit des constituants et d'une organisation chimiques identiques, diffèrent par leurs propriétés biologiques, les conceptualisations mentales et matérielles ont également des propriétés différentes même si elles procèdent initialement des mêmes expériences.

Je suggère que c'est là à la fois l'origine du dualisme et ce qui l'explique. La dualité qui s'exprime, celle des procédures conceptuelles ne traduit aucune dualité fondamentale de nature. Comme nous le verrons, il existe d'autres dualités plus fondamentales, mais ce ne sont pas celles dont les champions du dualisme ont fait leur cheval de bataille.

Ainsi, à proprement parler, le mentalisme implique le matérialisme, et réciproquement, car le mentalisme n'aurait pas de raison d'être si le matérialisme n'existait pas. Le haut n'existe qu'en fonction du bas. En outre, selon Sperry [1980] et Searle [1984], le mentalisme ne vaudrait que pour les structures qui sont organisées par le cerveau et qui, à leur tour, organisent le cerveau. Cependant, ces auteurs n'indiquent pas clairement s'ils consentiraient à admettre une thèse épistémologique limitée voulant que l'esprit interagisse avec les composants élémentaires du cerveau. L'intuition concernant les racines biologiques de l'activité mentale est certainement juste. Confondre l'analogie de l'ordinateur avec les homologues issues de l'histoire qui ont donné naissance aux processus psychologiques est comme dire d'une baleine que c'est un poisson. Dans le même ordre d'idées, Sperry et Searle sont toutefois résolument opposés à l'idée d'une existence indépendante de l'esprit conscient en dehors du cerveau en activité [Sperry, 1980, p. 195]. Leur mentalisme n'englobe pas l'essence même de ce qui fonde le mentalisme pour

ceux qui l'opposent au matérialisme, à savoir la primauté et l'indépendance des structures mentales.

Ce que l'ordinateur peut nous dire

Compte tenu de l'avertissement ci-dessus, considérons d'un peu plus près ce que peut apporter à l'analyse de la connexion esprit/cerveau l'étude des ordinateurs, des programmes et du traitement de l'information : en effet, à de nombreux égards, ces inventions de l'homme illustrent très clairement une partie de la problématique esprit/cerveau. Comme il a déjà été signalé [voir par exemple Searle, 1984], l'ordinateur n'est pas un cerveau, mais ses programmes sont construits par des personnes qui ont un cerveau. Les ordinateurs et leurs programmes constituent une métaphore utile pour l'analyse du problème esprit/cerveau parce qu'on peut considérer que la distinction entre le cerveau, l'intelligence et l'esprit est analogue à la distinction entre la machine (le matériel), les programmes de bas niveau (par exemple, les systèmes d'exploitation) et les programmes de haut niveau (par exemple, les logiciels de traitement de texte). Les programmes de bas niveau, comme les langages machine et les assembleurs, ne sont pas seulement propres à certains types de matériel ; il existe en outre une très forte similitude entre la logique de ces langages et les opérations logiques effectuées par les machines dans lesquelles ils interviennent. De même, on peut s'attendre à ce que les processus perceptifs présentent une certaine similitude avec les processus cérébraux. En revanche, des langages de haut niveau comme Fortran, Algol et Pascal sont d'une application plus universelle et la similitude entre leur logique implicite et la logique des machines est moins évidente. Au niveau le plus élevé, celui des langues comme l'anglais dans lequel je m'adresse à mon ordinateur pour lui faire traiter du texte, la relation entre le logos employé (mot, concept, logique) et celui de la machine est encore plus lointaine. Cependant, l'anglais me relie à une fraction assez importante de l'ordre social humain. De même, pour compléter l'analogie, la nature spirituelle de l'humanité s'emploie à établir des relations avec des ordres plus englobants, que ce soit sur le plan social, physique, cosmologique ou symbolique.

Le fait de comprendre comment les programmes informatiques sont composés aide également à démêler certains des pro-

blèmes que pose l'approche « identitaire » pour appréhender la relation esprit/cerveau. Dans la mesure où l'introspection ne présente pas de lien apparent avec les fonctions des tissus nerveux qui forment le cerveau, il n'a guère été aisé de comprendre de quoi parlaient les théoriciens lorsqu'ils soutenaient que les processus mentaux et cérébraux étaient identiques. Aujourd'hui, compte tenu de l'analogie ordinateur/programme, nous pouvons suggérer que ce qui est commun à une opération mentale et à la matière grise du cerveau dans laquelle l'opération est réalisée, c'est un certain ordre qui reste invariant au travers des transformations subies. Les mots information (dans les sciences du cerveau et les sciences cognitives) et structure (en linguistique et en musique) sont les termes le plus souvent utilisés pour décrire ces identités au travers des transformations subies. L'invariance de l'ordre considéré au travers de ces transformations ne se limite pas aux ordinateurs et à la programmation informatique. En musique, nous reconnaissons une sonate de Beethoven ou une symphonie de Berlioz, qu'elle nous soit présentée dans une partition sur feuilles de papier, lors d'un concert en direct, sur notre chaîne haute fidélité ou même dans notre voiture, alors qu'elle est déformée et brouillée par le bruit et une mauvaise reproduction sonore. L'information (la forme interne) et la structure (l'organisation) sont reconnaissables sous de nombreuses matérialisations. Les éléments matériels qui rendent les matérialisations possibles diffèrent très sensiblement mais ces différences ne font pas partie intégrante de la propriété essentielle de la forme musicale. En ce sens, l'approche identitaire de la relation esprit/cerveau, malgré le réalisme de ses matérialisations, a quelque chose des universaux platoniciens, c'est-à-dire des organisations idéales susceptibles de devenir imparfaites dans leur réalisation.

L'analyse de la construction des langages informatiques (par des êtres humains) permet de mieux percevoir comment l'information ou la structure se réalise dans une machine. Par essence, les hiérarchies biologiques comme les hiérarchies informatiques impliquent que des niveaux supérieurs d'organisation commandent des niveaux inférieurs et soient commandés par eux. Cette relation de causalité réciproque est omniprésente dans les systèmes vivants. Ainsi, non seulement le taux de gaz carbonique tissulaire commande-t-il le mécanisme de contrôle nerveux de la respiration mais il est lui-même déterminé par ce dernier. Initialement découverte en tant que principe régulateur qui

maintient un milieu constant, cette relation causale réciproque est appelée homéostasie. Les études menées au cours des dernières décennies ont permis d'établir que ces mécanismes de rétroaction (négative) étaient omniprésents et qu'ils faisaient intervenir des processus sensoriels et moteurs et toutes sortes de processus centraux. Lorsque les organisations de rétroaction sont reliées en parallèle, elles deviennent des mécanismes de commande prédictive qui fonctionnent dans une large mesure comme le font les mots (en bits et octets) dans les langages informatiques [Miller *et al.*, 1960 ; Pribram, 1971].

Considération tout aussi importante, la programmation permet d'analyser l'évolution des outils linguistiques qui mettent en relation les différents niveaux des langages de programmation. Les calculateurs numériques dotés d'une logique binaire nécessitent un langage de bas niveau (codé au moyen des chiffres 0 ou 1) qui commande le positionnement d'une série de commutateurs binaires. Au niveau suivant, les commandes des commutations peuvent être groupées de sorte que les chiffres binaires (bits) soient convertis en un code plus complexe composé d'octets affectés chacun d'un label alpha-numérique. La commande de commutation 001 devient ainsi 1, la commande 010 devient 2 et la commande 100 devient 4.

Étant donné que 000 correspond à 0, il existe maintenant huit combinaisons possibles, dont chacune est un octet. On répète l'opération au niveau suivant en groupant les octets en mots reconnaissables : 1734 devient ainsi ADD, 2051 devient SKIP, et ainsi de suite. Dans les langages de haut niveau, des groupes de mots sont intégrés dans des programmes complets exécutable au moyen d'une seule commande.

Il est probable que la relation entre les processus mentaux et le cerveau fait intervenir une certaine forme d'intégration hiérarchique. Les mécanismes sensoriels convertissent les caractéristiques de l'énergie physique en caractéristiques de l'énergie nerveuse. Les récepteurs sensoriels comme la rétine et la cochlée fonctionnant en mode analogique plutôt que numérique, la conversion est beaucoup plus complexe que les opérations de codage décrites ci-dessus. Néanmoins, bon nombre des études neurophysiologiques visent à mettre en évidence la correspondance entre les caractéristiques des données d'entrée physiques et celles de la réaction neurale. Lorsqu'on passe à des données d'entrée plus complexes, l'opération consiste à comparer les caractéristiques déterminées par les éléments physiques à l'ex-

périence subjective (psychophysique) et à enregistrer aussi les caractéristiques de la réaction des relais sensoriels dans le cerveau.

Ces comparaisons montrent qu'un certain nombre de transformations interviennent entre les surfaces des récepteurs sensoriels et le cortex cérébral. Ces transformations sont représentées en mathématiques par des fonctions de transfert. Quand les fonctions de transfert font apparaître des caractéristiques identiques à l'entrée et à la sortie d'un relais sensoriel, on considère que ces caractéristiques sont géométriquement isomorphes, c'est-à-dire de même forme (iso signifiant égal et morphe signifiant forme). Quand les fonctions de transfert sont linéaires (c'est-à-dire superposables et inversibles, réversibles), on considère que les caractéristiques sont secondairement ou algébriquement isomorphes [Shepard & Chipman, 1970]. Ainsi, comme dans le cas de la programmation informatique, les niveaux sont-ils dus à des transformations qui modifient progressivement la forme des caractéristiques, tout en maintenant intact un certain ordre de base, une structure informative.

Ce que je propose donc, c'est un « monisme » structural isonomique, selon lequel les constituants vraiment fondamentaux de l'univers ne sont ni matériels ni mentaux, mais neutres au regard de cette dichotomie. La dématérialisation de l'énergie en physique moderne (dont je parlerai dans la prochaine section) conforte ce « monisme neutre » [James, 1909 ; Russell, 1948]. Des philosophes criticistes (par exemple Herbert Feigl [1960]), qui étaient imprégnés d'analyse linguistique, ont élaboré une thèse moniste suggérant que le mental et le « matériel » renvoient simplement à différentes manières de parler des mêmes processus. Ainsi, les termes « esprit » et « cerveau » désignent-ils des systèmes linguistiques distincts recouvrant des aspects différents d'un même élément de base. Le problème est de trouver, pour décrire cet élément commun, un langage neutre, sans connotations mentales ou matérielles.

J'approfondis cette conception des « aspects duaux » en avançant, qu'outre cette caractérisation linguistique, chaque aspect représente en fait une « réalisation » ou une « matérialisation » distincte [Pribram, 1971]. Comme indiqué plus haut, je propose également que ce qui est matérialisé, c'est la « structure » informative. J'inverse donc au fond l'approche des philosophes criticistes : la composante persistante « neutre » de l'univers c'est la structure informative, l'organisation néguentropique de l'éner-

gie. On peut caractériser cette structure en l'appelant linguistique ou mathématique, musicale, culturelle, etc. Les aspects duaux deviennent des réalisations duales — qui, en fait, peuvent être multiples — de la structure informative fondamentale. Ainsi une symphonie peut-elle se réaliser dans un concert, sur une partition, sur un disque ou sur une bande, et par conséquent au moyen d'une chaîne haute fidélité, à la maison.

L'esprit et le cerveau représentent de même deux ordres de réalisation, qui se matérialisent, comme mentionné ci-dessus, en progressant respectivement dans des sens différents dans la hiérarchie des systèmes conceptuels et réalisés. Tant les phénomènes mentaux que les objets matériels sont des réalisations et donc des réalités. Ces deux ordres de réalités sont des constructions à partir de « structures » sous-jacentes que la science a pour tâche de décrire dans un langage aussi neutre que possible (neutre au regard des connotations qui sembleraient indiquer que ces « structures » appartiennent à un ordre ou à l'autre). J'ai indiqué ailleurs la relation entre ce réalisme constructionnel et le réalisme critique, le pragmatisme, et le rationalisme néo-kantien [Pribram, 1971].

Il existe ainsi une importante différence entre le réalisme constructionnel tel que je le propose et les interactionnismes matérialistes, mentalistes, dualistes et triadiques. Dans un système constructionnel, la place qu'occupent les mécanismes cérébraux peut être précisée. Il n'existe pas d'« esprit » global qui entretiendrait des relations mystérieuses avec un « cerveau » global. De nombreuses énigmes subsistent cependant — par exemple, pour n'en citer qu'une, la question de savoir comment les émergents apparaissent et pourquoi ils sont si fondamentalement différents de leur substrat. Mais ces questions en présence prennent un caractère scientifique et deviennent maîtrisables dans le cadre général de la recherche philosophique.

Le monde de l'apparence et le monde de la potentialité

Si, pour aborder la problématique esprit/cerveau, on adhère à l'isonomie structurale en admettant les lois connexes, on doit alors préciser à quoi renvoie essentiellement la question. Si quelque chose ne restait pas constant à travers toutes les opérations de codage qui convertissent l'anglais en code machine binaire pour retourner ensuite à l'anglais, mes procédures de traitement

de texte seraient inopérantes. L'isonomie implique une relation de causalité progressive et réciproque entre des niveaux structuraux. À la différence de la thèse identitaire courante, l'isonomie n'implique pas nécessairement l'isomorphisme géométrique ni même algébrique. Il se produit des transformations, des opérations de codage qui relient hiérarchiquement des niveaux de complexité. Un niveau est défini par le fait que sa description, à savoir son code, est, d'une manière non négligeable, plus efficace (c'est-à-dire exige moins de travail ou une dépense d'énergie moindre) que l'utilisation du code des éléments qui le composent. Dans le cas du traitement de texte, le codage est arbitraire et ce caractère arbitraire est mémorisé sur une disquette et fait l'objet d'un droit d'auteur. Dans le cas de la relation esprit/cerveau, les opérations de codage sont de nature plus universelle et deux siècles de recherches en psychophysique, neuropsychologie et sciences cognitives ont permis de commencer à connaître au moins certaines d'entre elles.

J'insiste vivement sur ces acquis de la recherche scientifique pour bien montrer que, contrairement à ce que soutiennent certains philosophes (voir, par exemple, Dewan [1976]), ils présentent un intérêt pour l'élucidation des questions philosophiques. Si le problème esprit/cerveau découle d'une distinction entre le mental et le matériel et qu'il est constaté qu'à un certain niveau d'analyse cette distinction ne peut plus être établie clairement, ce sont peut-être les hypothèses mêmes auxquelles la question est associée qui seront jugées déficientes.

Les niveaux d'analyse concernent ainsi l'hypothèse fondamentale qui a donné naissance à la problématique esprit/cerveau : les phénomènes mentaux diffèrent nécessairement de l'univers matériel d'une manière essentielle. Comme nous l'avons vu, dans le domaine ordinaire des apparences, au niveau euclidonewtonien de l'analyse, ce point de vue est certainement défendable. Mais au niveau des univers macro et microphysiques, le dualisme devient problématique. Le principe de complémentarité de Niels Bohr et le principe d'incertitude de Werner Heisenberg soulignent l'importance de l'observateur dans la compréhension de ce qui est supposé observé [Bohr, 1966 ; Heisenberg, 1959]. Eugene P. Wigner [1969] résume ainsi le problème : la microphysique et la macrophysique modernes ne traitent plus des relations entre des éléments observables mais uniquement des relations entre des observations.

On peut objecter que les difficultés auxquelles se heurtent

aujourd'hui les physiciens s'agissant de distinguer les éléments observables des observations sont temporaires et superficielles et ne concernent en rien le philosophe en quête de vérités éternelles. Mais le message que cherchent à transmettre ces pionniers avisés des sciences physiques est autre : dans les univers qu'ils explorent, la distinction quotidienne entre le matériel et le mental devient, à un niveau très fondamental, fâcheusement indéfendable. Je propose ci-dessous quelques explications qui contribueront à éclairer leurs conceptions.

La dématérialisation de l'énergie se révèle, en un sens, issue de thèses anciennes. Ainsi, sur le plan conceptuel, la physique était compréhensible à l'époque de James Clerk Maxwell, où les ondes lumineuses étaient censées se propager dans l'« éther ». Mais les physiciens ont par la suite abandonné la notion d'« éther », sans pour autant renoncer aux équations d'onde de Maxwell ni à celles, plus récentes, d'Erwin Schroedinger (1928) ou du prince Louis Victor de Broglie (1964). S'il est facile de se représenter des ondes se propageant dans un milieu — les ondes sonores dans l'air, par exemple —, comment concevoir que des ondes lumineuses ou d'autres ondes électromagnétiques puissent « se propager » dans le vide ? Actuellement, les physiciens commencent à combler ce vide par des concentrations denses de bosons sans masse, de l'énergie au zéro absolu et un potentiel quantique, pour travailler sur les interfaces avec la matière. Je propose que c'est un potentiel de ce type qui est neutre au regard de la dualité mental-matériel.

En sciences, les potentiels sont définis comme le travail, effectif ou possible, qui est nécessaire pour qu'une réalisation se produise et sont mesurés comme des variations d'énergie. Une réalisation multiple implique ainsi un monisme neutre, dans lequel l'essence neutre — le potentiel de réalisation — est l'énergie. Et, comme l'indique le deuxième principe de la thermodynamique, l'énergie est entropique, c'est-à-dire qu'elle peut avoir une structure. L'énergie n'est pas matérielle, elle est simplement transformable en matière. Elle se mesure à la quantité de travail qui peut être accomplie en l'utilisant, le rendement de son utilisation dépendant de son organisation telle que mesurée par son entropie. L'invention du tube à vide et des appareils qui lui ont fait suite a montré que des quantités infimes d'énergie convenablement configurées pouvaient assurer la maîtrise d'importantes dépenses énergétiques et que ces organisations à l'échelle infinitésimale fournissaient de l'« information », en ce

sens qu'elles « informaient » et organisaient l'énergie. On a ainsi considéré qu'il existait une relation entre les mesures de l'information et celles de l'entropie (voir, par exemple, Brillouin, [1962]; von Weizsacker [1974]). Des ordinateurs ont été construits pour traiter l'information et des programmes écrits pour organiser les opérations des ordinateurs. L'information contenue dans un programme est-elle « matérielle » ou « mentale » ? Si elle est les deux à la fois, que dire alors de l'information contenue dans un livre ? Ou de l'entropie qui décrit le comportement d'un moteur thermique ou d'un mammifère à sang chaud ? À l'évidence, l'utilité de la distinction entre le matériel et le mental montre ici ses limites.

Heisenberg [1959] a élaboré une approche matricielle pour comprendre l'organisation de l'énergie (et de la quantité de mouvement, c'est-à-dire de l'inertie). Cette approche est actuellement appliquée à la matrice S , aux théories d'autogénération mutuelle des quanta et à la physique nucléaire par Henry Stapp [1965] et Geoffrey Chew [1966]. Les chercheurs de cette école (dont Dirac [1951]) ont signalé que la relation entre les mesures de l'énergie et de la quantité du mouvement et les mesures de la position dans l'espace-temps était exprimée par une transformée de Fourier. Le théorème de Fourier stipule que toute forme d'organisation peut être décomposée en — et représentée par — une série de formes d'ondes régulières présentant différentes amplitudes fréquences et relations entre phases. Ces formes d'ondes régulières peuvent alors être superposées, convolutées, l'une sur l'autre et, par la méthode inverse de Fourier, retransformées de sorte que leurs corrélations dans la configuration spatio-temporelle initiale soient mises en évidence. La transformée de Fourier d'un ensemble de formes fait ainsi apparaître une organisation spectrale bien entendu différente de celle qui se dégage après que la transformée inverse de Fourier a reconverti la forme dans l'ordre spatio-temporel.

En ce qui concerne la proposition de Dirac, Stapp et Chew, cela signifie que l'organisation de l'énergie et de la quantité de mouvement est très différente de l'organisation spatio-temporelle de nos perceptions ordinaires qui peut être exprimée en termes euclidiens, cartésiens et newtoniens. David Bohm [1971, 1973, 1976] a dit de ces organisations non classiques des potentiels d'énergie qu'elles étaient « impliquées », c'est-à-dire convolutées. Il cite l'hologramme comme exemple d'un de ces ordres convolutés. Bohm s'étant intéressé à d'autres implications non

spécifiées, j'appellerai premier ordre impliqué ou implexe celle dont je parle ici. Dennis Gabor [1946, 1948] a inventé l'hologramme en partant du fait que l'on pouvait fixer sur une pellicule photographique la configuration des interférences des formes d'ondes produites par la réflexion ou la réfraction de la lumière renvoyée par un objet et reconstruire l'image de l'objet à partir de cette photographie. Ce n'est probablement pas par hasard que les hologrammes sont ainsi le fruit d'une découverte mathématique (due à Dennis Gabor) qui exploite un aspect des mathématiques — le calcul intégral — inventé par Gottfried Wilhelm Leibniz, savant qui était lui-même parvenu à entrevoir l'ordre implexe. *La Monadologie* de Leibniz [1714, rééditée en 1951], est holographique. Ses monades sont des formes distribuées « sans fenêtres » dont chacune est représentative de l'ensemble. Remplaçons les mots « sans fenêtres » par « sans lentilles optiques », et la description de la monade devient identique à celle de l'hologramme. De nos jours, on sait que la relation entre la description de l'organisation convolutive du potentiel de reconstruction mémorisé et la description spatio-temporelle « déroulée » de l'objet est exprimée par une transformée de Fourier.

Le théorème de Fourier a également joué un rôle important dans les récentes découvertes des sciences du cerveau. À la fin des années 60, plusieurs équipes de chercheurs se sont trouvées en mesure de comprendre les résultats de leurs recherches sur la vue lorsqu'elles ont pris conscience que ces résultats indiquaient que l'encodage de caractéristiques spatiales dans le système visuel faisait intervenir ce qu'elles ont appelé la fréquence spatiale. Elles entendent par là le domaine spectral qui résulte de l'application d'une transformée de Fourier à l'espace-temps. Fergus Campbell et John Robson [1968] de l'université de Cambridge ont ainsi découvert dans leurs données des régularités inattendues : les réactions à des réseaux de diffraction aux sillons de largeurs et d'espacements différents ne s'adaptaient pas seulement au réseau de diffraction particulier montré ; l'adaptation se vérifiait pour d'autres points des observations. Ces adaptations supplémentaires s'expliquaient si l'on décrivait les réseaux comme des ensembles de formes d'ondes régulières d'une fréquence donnée et les régularités comme correspondant à des harmoniques. La fréquence spectrale était déterminée par les espacements des sillons du réseau, d'où l'expression « fréquence spatiale ». Il existe bien entendu un lien entre les fréquences

spatiales et les fréquences temporelles. Un balayage effectué par un rayon se déplaçant régulièrement décrirait la fréquence temporelle d'un réseau considéré. Les physiciens utilisent en conséquence l'expression « nombre d'ondes » pour exprimer le caractère purement fréquentiel spectral de la description des configurations observées. Cela signifie que l'image optique est décomposée en ses composantes de Fourier, autrement dit en des formes d'ondes régulières de fréquences et d'amplitudes différentes. Les cellules du système visuel réagissent à telle ou telle de ces composantes et forment ainsi, globalement, un filtre de traitement de l'image, ou un résonateur, dont les caractéristiques sont analogues à celles du filtre photographique qui sert à composer un hologramme et à partir duquel les images peuvent être reconstruites par application de la transformée inverse.

Il existe toutefois d'importantes différences entre les hologrammes photographiques ordinaires et le système nerveux visuel. Les hologrammes ordinaires sont composés conformément à une transformée de Fourier globale qui distribue dans tout le domaine de la transformée l'information. Dans le système nerveux visuel, la distribution se limite, sur le plan anatomique, à la donnée d'entrée qui est véhiculée vers une cellule particulière du cortex. Certaines techniques holographiques utilisent cependant des constructions « en patchwork » ou multiples analogues. Bracewell [1965], à l'université Stanford, a montré la voie de l'application de ces techniques en radioastronomie en regroupant les transformations holographiques de secteurs limités du ciel tels que vus au radiotélescope. L'application de la transformée inverse permet en pareil cas de reconstituer en trois dimensions des images spatio-temporelles de l'ensemble.

En outre, la transformée qui décrit le mieux le processus qui s'effectue dans le système visuel est une transformée de Gabor, plutôt qu'une transformée de Fourier. La transformée de Gabor [Gabor, 1946, 1948 ; Pribram et Carlton, 1987 ; Daugman, 1985 ; Marcelja, 1980] est obtenue en plaçant une enveloppe gaussienne sur la transformée de Fourier, celle-ci étant autrement illimitée. Cette autre façon de dire que la transformation est sectorielle — en « patchwork » —, et non globale, apporte une précision mathématique à la détermination des limites en cause.

Enfin, l'agencement des voies visuelles et celui des cellules du cortex l'un par rapport à l'autre ne sont pas le fruit du hasard. Une relation claire est maintenue entre la rétinotopie et l'organisation spatiale du cortex. Le gros grain du filtre optique déter-

mine de la sorte les coordonnées spatio-temporelles tandis que son grain fin décrit les composantes de Fourier.

Quel avantage cette organisation à grain fin de type holographique apporte-t-elle ? On se rappellera que, dans le domaine d'une transformée, il est aisé d'établir des corrélations entre les configurations observées. C'est du reste pour cette raison que la transformée de Fourier rapide exécutée par ordinateur constitue un outil si puissant pour l'analyse statistique et la tomographie informatisée (scanographie). Le cerveau est lui aussi un excellent corrélateur en raison de son potentiel de traitement à grain fin.

Ces propriétés duales, tenant à ce qu'une organisation à grain fin convolutive soit, en termes techniques, l'organisation des champs récepteurs synapododendritiques, est jointe à une organisation spatiotemporelle à gros grain, caractérisent également d'autres fonctions sensorielles, encore que l'on ne dispose pas à ce sujet de données expérimentales aussi complètes. Georg von Békésy [1967] a effectué des études déterminantes sur l'ouïe et la somesthésie. Walter Freeman [1960] a étudié l'odorat et King, Xie, Zheng et Pribram [1994] la fonction somato-sensitive, tandis que Pribram, Sharafat et Beekman [1984] ont montré que les cellules du cortex sensitivo-moteur étaient « réglées » sur des fréquences de mouvement spécifiques (activées spécifiquement par ces fréquences). Par ailleurs, dans tous ces systèmes sensoriels, l'organisation spatiale de la surface des récepteurs trouve sa représentation topographique dans l'agencement « gros grain » des cellules du cortex qui reçoivent les données d'entrée sensorielles.

Pour résumer, on a de bonnes raisons de penser qu'il existe une autre classe d'ordres derrière le niveau classique ordinaire d'organisation que nous percevons d'habitude et qui peut être décrit en termes euclidiens et newtoniens et cartographié au moyen des coordonnées spatio-temporelles cartésiennes. Cette classe d'ordres est constituée d'organisations distribuées à grain fin, qualifiées de potentielles en raison des changements radicaux qui interviennent dans le processus transformationnel de réalisation. Quand un potentiel se réalise, l'information, la forme interne est développée se révélant sous son apparence spatio-temporelle ordinaire. Dans le sens inverse, la transformation opère une convolution et distribution de l'information comme le fait le procédé holographique. Dans la mesure où un travail intervient dans le processus de transformation, des des-

criptions en termes d'énergie sont applicables et dans la mesure où c'est la structure de l'information qui est transformée, il est également justifié de parler d'entropie (et de néguentropie). On a ainsi, d'un côté, des ordres potentiels convolutés et, de l'autre, des ordres développés se manifestant dans l'espace-temps.

On a déjà signalé dans cet essai que le dualisme mental-matériel ne valait que pour le monde ordinaire des apparences, à savoir le monde décrit par la géométrie euclidienne et la mécanique newtonienne. On a expliqué le dualisme par une différence de procédure dans l'analyse de la hiérarchie des systèmes qui peut être discernée dans ce monde d'apparences. On a développé cette explication pour proposer une théorie, celle du réalisme constructionnel. Mais on a également indiqué que les explications identitaires n'apportaient pas de réponse à certaines questions que soulevait la thèse dualiste plus classique.

On peut distinguer deux questions : 1) Qu'est-ce qui reste identique aux divers niveaux de la hiérarchie des programmes ou des compositions ? et 2) La correspondance entre le langage machine (programme ou notation musicale) et le fonctionnement de la machine ou de l'instrument est-elle une identité ou relève-t-elle de la dualité ? Je crois que la réponse à ces deux questions dépend du point de savoir si l'on se concentre sur l'ordre (forme, organisation) ou sur les réalisations dans lesquelles ces ordres se particularisent [Pribram, 1986 ; 1993].

Il existe une différence entre les structures de surface à différents grains qui sont transformées et l'isonomie plus profonde qui informe les transformations. Les transformations sont nécessaires aux « particularisations » matérielles et mentales — les apparences particulières de Platon — des informations idéales : la particularisation de la Neuvième Symphonie de Beethoven subit plusieurs transformations en passant de la composition (opération mentale) à la partition (matérialisation), à l'exécution (opération plus mentale que matérielle), à l'enregistrement sur disque compact (opération plus matérielle que mentale) et aux processus sensoriels et cérébraux (opération matérielle) qui permettent une audition appréciatrice (opération mentale). Mais la symphonie en tant que symphonie reste reconnaissable comme la composition de Beethoven au travers de siècles d'exécution, d'enregistrement et d'audition.

Les particularisations dépendent des transformations subies d'un ordre à l'autre. Ce qui reste invariant dans toutes les particularisations, c'est l'« in-formation », la forme interne. Étrange-

ment, selon cette analyse, c'est un « idéalisme » platonicien qui motive la révolution de l'information (les approches du « traitement de l'information » en sciences cognitives) et qui la distingue de la révolution industrielle matérialiste. En outre, dans la mesure où l'information n'est ni matérielle ni mentale, un pragmatisme scientifique analogue à celui pratiqué par les pythagoriciens vient évincer le mentalisme et le dualisme comme le matérialisme. Ou, tout au moins, la tension entre l'idéalisme (le potentiel) et le réalisme (l'apparence) qui caractérisait le dialogue entre Platon et Aristote est-elle appelée à remplacer celle qui s'exerce entre le mentalisme et le matérialisme.

RÉFÉRENCES

Bekesy Von G. [1967]. *Sensory Inhibition*. Princeton, N.J : Princeton University Press.

Bohm, D. [1971]. *Quantum Theory as an Indication of a New Order in Physics. Part A. The Development of New Orders as Shown Through the History of Physics*. *Foundation of Physics*, 1, p. 359-381.

Bohm, D. [1973]. *Quantum Theory as an Indication of a New Order in Physics. Part B. Implicate and Explicate Order in Physical Law*. *Foundation of Physics*, 3, p. 139-168.

Bohm, D. [1976]. *Fragmentation and Wholeness*. Jerusalem : VanLeer Jerusalem Foundation.

Bohr, N. [1966]. *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York : Vintage.

Bracewell, R.N. [1965]. *The Fourier Transform and its Application*. New York : McGraw-Hill.

Brentano, F. [1944]. *La Psychologie du point de vue empirique*, Aubier, Paris.

Brillouin, L. [1962]. *Science and Information Theory* (2^e éd.). New York : Academic Press.

Brogliè, L.V. prince de [1964]. *Étude critique des bases de l'interprétation actuelle de la mécanique ondulatoire*, Paris, Gautier-Villars.

Bunge, M. [1980]. *The Mind-Body Problem*. Oxford, Royaume-Uni : Pergamon Press.

Campbell, F.W. & Robson, J.G. [1968]. « Application of Fourier Analysis to the Visibility of Gratings. » *Journal of Physiology*, 197, p. 551-566.

Chew, G.S. [1966]. *The Analytic S-Matrix. A Basis for Nuclear Democracy*. New York : Benjamin.

Chisholm, R.M. [1960]. *Realism and the Background of Phenomenology*. New York : Free Press.

Daugman, J.G. [1985, july]. « Uncertainty Relation for Resolution in Space, Spatial Frequency, and Orientation Optimized by Two Dimensional Visual

Cortical Filters ». *Journal of the Optical Society of America*, 2 (7), p. 1160-1169.

Dennet, Daniel C. [1991]. *Consciousness Explained*. Boston : Little Brown & Co. (p. 511).

Dewan, E.M., Eccles, J.C., Globus, G.G., Gunderson, K., Knapp, P.H., Maxwell, G., Pribram, K.H., Savage, C.W., Savodnik, I., Scriven, M., Sperry, R.W., Weimer, W.B., Wimsatt, W.C. [1976]. « The Role of Scientific Results in Theories of Mind and Brain : A Conversation among Philosophers and Scientists ». Dans G.G. Globus & G. Maxwell (dir. publ.), *Consciousness and the brain* (p. 317-328). New York : Plenum Press.

Dirac, P.A.M. [1951]. « Is there an Aether ? » *Nature*, 168, 906.

Feigl, H. [1960]. « Mind-Body, not a Pseudoproblem ». Dans S. Hook (dir. publ.), *Dimensions of Mind* (p. 33-44). New York : Collier.

Freeman, W.J. [1960]. « Correlation of Electrical Activity of Prepyriform Cortex and Behavior in Cat ». *Journal of Neurophysiology*, 23, p. 111-131.

Gabor, D. [1946]. *Theory of Communication*. Institute of Electrical Engineers, 93 : p. 429-441.

Gabor, D. [1948]. « A New Microscopic Principle ». *Nature*, 161, p. 777-778.

Heisenberg, W. [1959]. *Physics and Philosophy*. Londres : Allen & Unwin.

James, W. [1909]. *A Pluralistic Universe*. Londres : Longman's, Green & Co.

King, J.S., Xie, M., Zheng, B., & Pribram, K.H. [1994]. « Spectral Density Maps of Receptive Fields in the Rat's Somatosensory Cortex. » Dans Pribram, K.H. (dir. publ.) *Origins : Brain & Self Organization*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, p. 556-571.

Leibniz, G.W. [1951]. *The Monadology and Other Philosophical Writings*. Londres, Royaume-Uni : Oxford University Press. (Ouvrage original publié en 1714.)

Marcelja, S. [1980]. « Mathematical Description of the Responses of Simple Cortical Cells ». *Journal of the Optical Society of America*, 70, p. 1297-1300.

Miller, G.A., Galanter, A., & Pribram, K.H. [1960]. *Plans and the Structure of Behavior*. New York : Henry Holt & Company.

Minsky, M. [1986]. *Society of Mind*. New York : Simon & Schuster.

Pribram, K.H. [1965]. « Proposal for a Structural Pragmatism : Some Neuropsychological Considerations of Problems in Philosophy ». Dans B. Wolman & E. Nagle (dir. publ.), *Scientific of Psychology : Principles and Approaches* (p. 426-459). New York : Basic Books.

Pribram, K.H. [1971]. *Languages of the Brain : Experimental Paradoxes and Principles of Neuropsychology*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall ; Monterey CA : Brooks/Cole, 1977 ; New York : Brandon House, 1982. (Traduit en russe, en japonais, en italien et en espagnol.)

Pribram, K.H. [1986]. « The Cognitive Revolution and Mind/Brain Issues ». *American Psychologist*, 41, p. 507-520.

Pribram, K.H. [1993]. « Afterword ». Dans K.H. Pribram (dir. publ.), *Rethinking Neural Networks : Quantum Fields and Biological Data* (p. 531-536). New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Pribram, K.H. & Carlton, E.H. [1987]. « Holonomic Brain Theory in Imaging and Object Perception ». *Acta Psychologica*, 63, p. 175-210.

Pribram, K.H., Sharafat, A., Beekman, G.J. [1984]. « Frequency Encoding in Motor Systems ». In H.T.A. Whiting (dir. publ.), *Human Motor Actions : Bernstein Reassessed* (p. 121-156). Amsterdam : North-Holland/Elsevier.

Russell, B. [1948]. *Human Knowledge, its Scope and Limits*. New York : Simon & Schuster.

Schroedinger, E. [1928]. « Quantization as a Problem of Proper Values. » Dans J.F. Shearer & W.M. Deans (dir. publ.), *Collected Papers on Wave Mechanics*. Londres : Blackie.

Searle, J.R. [1984]. *Minds, Brains and Science*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

Shepard, R.N. & Chipman, S. [1970]. « Second-Order Isomorphism of Internal Representations : Shapes of States ». *Cognitive Psychology*, I, p. 1-17.

Sperry, R.W. [1980]. *Mind/Brain Interaction-Mentalism, Yes-Dualism, No-Neuroscience*, p. 195-206.

Stapp, H.P. [1965]. « Space and Time in S-Matrix Theory ». *Physiological Review*, 135B, p. 257-270.

Stich, Stephen P. [1986]. *From Folk Psychology to Cognitive Science — The Case against Belief*. Cambridge, MA : A Bradford Book, MIT Press.

Weizsacker, E. von [1974]. *Official Systems I*. Stuttgart, RFA : Verlag.

Wigner, E.P. [1969]. « Epistemology of Quantum Mechanics : Its Appraisals and Demands. » Dans M. Grene (dir. publ.), *Tize Anatomy of Knowledge* (p. 31-45). Londres : Routledge & Kegan Paul.