

Brian C. GOODWIN

La genèse de formes dynamiques : l'organisme et l'esprit*

Le créateur et l'automate

Descartes pensait que la différence entre les hommes et les animaux était telle que le comportement de ces derniers pouvait être entièrement expliqué en termes mécaniques, alors que l'être humain dispose d'une créativité qui ne peut être réduite à des mécanismes, comme le montre tout particulièrement l'exemple du langage humain. Sa définition de la créativité était perspicace et reposait sur trois critères principaux : une variété illimitée ; la pertinence ou la justesse ; et la liberté ou l'indépendance vis-à-vis d'une détermination par des stimuli. Notre compétence linguistique nous permet de générer un nombre de phrases quasiment infini, toutes pertinentes ou justes dans leur contexte linguistique ; de plus, le choix d'une tournure plutôt qu'une autre n'est pas dicté par un stimulus externe. Le critère utilisé par Descartes pour distinguer l'homme de l'animal portait donc sur la créativité. Trois siècles plus tard, avec une science cartésienne très développée et une théorie de l'évolution dont le but est d'expliquer l'origine des espèces (et donc les différences entre elles, comme par exemple la faculté de langage plus ou moins propre à l'espèce humaine), quel bilan peut-on faire de l'approfondissement de ce critère, de son raffinement, ou de son éventuelle transformation ?

* Ce texte fut initialement publié en anglais dans la revue *Leonardo*, Vol. 22, N° 1 ; pp. 27-31 (1989). Tous droits réservés, c I.S.A.S.T. 1989. Nous remercions la revue *Leonardo* pour l'aimable autorisation de traduire et de rééditer ce texte. Traduit de l'anglais par S. Busch.

Dans le cadre de la linguistique, nombreux sont ceux qui continuent de soutenir que le langage est l'un des critères principaux permettant de distinguer l'*Homo sapiens* des autres primates ; ceci en dépit de la démonstration que ces derniers (les chimpanzés, par exemple) sont parfaitement capables d'apprendre les rudiments du langage gestuel des sourds-muets, et de faire preuve de créativité en combinant ces signes pour former des significations nouvelles et pertinentes vis-à-vis du contexte. Néanmoins, Noam Chomsky (entre autres) insiste sur le fait que l'acquisition d'une compétence linguistique chez le jeune enfant est extraordinairement rapide, et que le degré de créativité dont il fait preuve est exceptionnel ; ces capacités étant sans commune mesure avec celles manifestées par toute autre espèce, Chomsky soutient qu'elles révèlent un niveau d'organisation cognitive qualitativement distinct [1]. Ainsi adopte-t-il une position cartésienne ; dans ses œuvres *La linguistique cartésienne* [2] et *Le langage et l'esprit* [3], il expose et développe le critère de la créativité dans l'expression linguistique.

D'un autre côté, les principes analytiques développés par Descartes pour l'étude des automates, une catégorie qui selon lui comprenait non seulement la nature inanimée mais aussi tous les phénomènes biologiques jusqu'au niveau de l'esprit humain, ont abouti à la domination des explications mécanistes en biologie. L'évolution, dont Descartes n'a pas eu à tenir compte, est considérée comme le résultat d'un processus purement mécanique de variation aléatoire soumise à la sélection naturelle ; ce processus est censé avoir créé non seulement les animaux, mais aussi les êtres humains et leur cerveau. Ainsi le cerveau doit-il être lui aussi considéré comme un mécanisme si l'on accepte la philosophie moniste de la théorie contemporaine de l'évolution ; par conséquent, toute différence entre les êtres humains et les autres animaux doit être une différence de degré et non de nature.

Que dit Chomsky à ce sujet ? Sa position [4] est que le cerveau humain est un organe de la pensée et que, comme les autres organes, il est différent de celui des autres animaux à cause des différences innées (génétiques) entre les espèces. Chomsky se rend bien compte que cet appel à l'innéisme explique peu de chose, comme en témoigne l'extrait suivant :

On ne risque rien à attribuer ce développement à la 'sélection naturelle', tant que nous sommes conscients que cette affirmation est vide de sens, qu'elle ne correspond à rien de plus qu'une croyance dans l'existence d'une explication naturaliste de ces phénomènes [5].

Ainsi, des "explications" qui invoquent l'évolution par sélection naturelle afin de rendre compte de l'apparition des différences de forme et de comportement entre espèces posent un problème sans y apporter de solution. En effet, on sait que les différences génétiques entre l'homme et le chimpanzé concernent au plus 1% de leurs génomes (autrement dit, nous sommes génétiquement identiques à 99%). Puisque les gènes dirigent la synthèse des molécules, la génétique est un outil puissant pour produire des différences dans la composition moléculaire d'un organisme et pour observer leurs conséquences sur la morphologie, le comportement ou le métabolisme. Mais ceci ne nous indique pas comment les molécules sont organisées afin de constituer le processus dynamique et ordonné que représente l'organisme vivant.

L'application des principes cartésiens de décomposition d'un système complexe en processus simples et élémentaires a conduit à la constatation que les animaux ne sont pas des automates tels que Descartes les imaginait ; en fait, ils sont tout aussi réfractaires à l'analyse scientifique que les esprits que Descartes avait distingués comme appartenant au domaine de la créativité irréductible. Parmi les domaines de la biologie qui continuent à défier une analyse réductionniste cartésienne, on peut citer : le fonctionnement du cerveau ; le développement de l'embryon ; et les origines des grands groupes taxonomiques au cours de l'évolution. On peut remarquer que ces domaines sont précisément ceux où la création est la plus évidente. Cependant, malgré la clarté de la définition de Descartes, la créativité n'est peut être pas la meilleure façon de caractériser la nature du problème que nous pose ces aspects de la nature organique. Voyons donc si nous pouvons rendre compte de ces propriétés des organismes et des esprits par une approche un peu différente. La meilleure façon de rechercher la solution d'un problème est parfois de le transformer.

Le problème de la forme

Les trois domaines problématiques identifiés plus haut — à savoir le fonctionnement du cerveau, le développement embryonnaire, et l'origine des grandes classes d'organismes — ont un élément en commun : elles impliquent la genèse de formes complexes et organisées. Ceci est parfaitement évident dans le cas des origines des grands groupes taxonomiques (phylogenèse), caractérisés par leurs spécificités morphologiques ; et dans celui du développement embryonnaire (ontogenèse), où des organismes de formes spécifiques sont générés à partir de graines, de bourgeons ou d'œufs. Le comportement et la cognition impliquent eux aussi la génération de formes ordonnées dans l'espace et le temps, que ce soit dans le jeu, le rituel de la cour, la reconnaissance des formes ou la parole. Tous peuvent être considérés comme le résultat d'un principe génératif et de règles de transformation, qui opèrent au sein de l'organisme en intégrant le contexte pour produire les formes appropriées. Le problème est d'identifier les types d'ordre dynamique qui caractérisent les populations en évolution, les organismes en développement et les cerveaux en fonctionnement, donnant naissance aux formes sophistiquées et caractéristiques qui en sont l'expression naturelle.

Ceci constitue le problème de la forme, phénomène saillant en biologie. C'est cette partie de la biologie qui est restée réfractaire à la tradition analytique et réductrice, que Descartes défendait si ardemment et qui a permis tant d'avancées dans nos connaissances des propriétés moléculaires et cellulaires de l'organisme et du cerveau. Ce que n'a pas révélé la démarche cartésienne, c'est l'organisation dynamique des éléments moléculaires et cellulaires à un niveau approprié pour comprendre la genèse des formes. En se rapportant à la philosophie de Thomas Kuhn, on peut se demander s'il s'agit là d'une simple énigme qui finira par être résolue grâce à l'accumulation progressive de détails ; ou bien s'il s'agit d'un problème profond dont la résolution nécessitera un changement fondamental de perspective et de présupposés, ce qui reviendrait à un changement de paradigme.

Considérons brièvement les termes de cette alternative, dont les implications font l'objet d'une discussion plus détaillée dans deux

recueils récents [6,7]. Bien que je puisse donner l'impression de digresser, il me semble nécessaire de balayer certains obstacles conceptuels qui encombrant le champ biologique. Ensuite, les conséquences pour la compréhension des processus organisés en biologie et le lien avec l'action créatrice devraient devenir plus clairs.

Le dialogue biologique

L'opinion dominante en biologie concernant les organismes veut que ce soient des systèmes complexes dotés d'une capacité d'auto-reproduction ; les propriétés spécifiques de ces systèmes auraient évolué grâce à la sélection naturelle agissant sur des variations spontanées créées par des mutations génétiques et des recombinaisons chromosomiques. Selon cette description, il existe essentiellement deux séries de forces agissant sur l'organisme : des forces internes venant des gènes, qui engendrent des variations dans les propriétés de l'organisme (y compris dans la forme) ; et des forces externes provenant de l'environnement, qui déterminent quelles sont les variantes qui vont survivre et qui seront donc adaptées. L'organisme lui-même n'est défini nulle part sauf comme entité capable de se reproduire, bien que l'organisme soit en quelque sorte l'agent médiateur entre les forces internes (génétiques) et les forces externes (environnementales) qui agissent de telle sorte que la souche génétique est optimisée. En général, cette médiation est considérée comme directe, dans la mesure où l'on suppose que les phénotypes sont déterminés ou engendrés par des génotypes, de telle façon que la sélection des phénotypes entraîne une modification des génotypes. Ainsi, l'organisme est conçu en fait comme une vitrine transparente dans laquelle les marchandises génétiques sont exposées à la sélection naturelle, qui y fait ses courses et sélectionne des articles ('caractères') pertinents et qui crée ainsi les assemblages spécifiques que nous appelons les membres d'une espèce.

Il y a deux dualismes fondamentaux dans cette description : celui concernant le génotype et le phénotype, et celui concernant l'organisme et son environnement. Je reviendrai sur le second dans la section suivante. Selon le premier dualisme, on considère que le phénotype découle essentiellement du génotype. Ceci est

actuellement exprimé par la métaphore du programme, appliquée à l'ensemble des instructions génétiques qui dirigent la construction d'un organisme pendant le développement embryonnaire en précisant quelles molécules seront produites à quel instant, à quel endroit et en quelles quantités. Ainsi, l'organisme est considéré comme étant réductible aux molécules qui le composent. En termes biochimiques, il est indéniable que l'organisme est composé de molécules. La grande réussite de la biologie moléculaire est l'élucidation des mécanismes à travers lesquels ces molécules sont fabriquées et leurs quantités contrôlées. La limitation de cette description est que la forme n'est pas, en général, simplement explicable en termes de composition ; et ceci même si l'on y adjoint des informations concernant les conditions particulières en vigueur au cours de la génération de la forme à partir de ses constituants. L'eau et la glace ont la même composition mais des formes complètement différentes, et dire qu'une forme existe au-dessus de 0°C et l'autre en-dessous ne les explique en rien. L'explication de la forme requiert toujours une théorie de l'organisation, de la manière dont les constituants s'organisent dans l'espace et le temps. Ce principe est reconnu depuis au moins l'époque de Pythagore, mais il est souvent oublié.

En raison de l'absence d'une telle théorie de l'organisme, les problèmes du développement embryonnaire ainsi que des origines des grands groupes taxonomiques restent des problèmes ouverts. Peu importe tout ce que nous pouvons apprendre sur les gènes et les molécules ; de même que le comportement générique des liquides ne pouvait être expliqué sans une théorie de l'ordre dynamique de l'espace-temps qui caractérise l'état liquide de la matière, l'ontogenèse et la phylogenèse ne seront pas comprises tant que nous n'aurons pas une description exacte du type d'organisation dynamique qui caractérise le vivant.

Une découverte récente de la génétique moléculaire qui souligne ce point de manière marquante est le fait qu'il n'existe pas de corrélation entre la quantité d'ADN dans les chromosomes d'une espèce et la complexité morphologique de ceux-ci. Certains espèces amphibiennes qui sont quasiment identiques morphologiquement sont néanmoins très différentes en ce qui concerne leur ADN

chromosomique ; alors que (comme nous l'avons déjà remarqué) les hommes et les chimpanzés, dont les différences morphologiques et comportementales sont notables, ont des contenus d'ADN très semblables. Ainsi, ce n'est pas le contenu ou la composition qui importe, mais l'organisation, une idée maintes fois reprise dans l'histoire de la biologie [8]. Mais ce n'est pas en se débattant avec des problèmes difficiles qu'on construit une carrière scientifique. Par ailleurs, les difficultés sont vraisemblablement de notre propre fait : nous abordons le problème sous un mauvais angle, identifiant les mauvaises causes. Les liens de causalité entre le génotype et le phénotype ne sont pas simplement des relations linéaires de cause à effet (comme dans la philosophie de Hume) pour lesquelles les molécules servent d'intermédiaires. La dualité entre génotype et phénotype, comme celle de l'esprit et du corps, crée une confusion et une mystification ; de plus, elle a une origine comparable [9].

L'organisme et l'environnement

Retournons à présent au second dualisme — celui entre l'organisme et l'environnement — sur lequel est basé la théorie de l'adaptation par sélection naturelle. Selon ce scénario, l'environnement préexiste sous forme de niches écologiques, qui posent des problèmes que la sélection naturelle doit résoudre en produisant des organismes pourvus des caractères requis pour survivre et se reproduire dans ces niches. Des variations spontanées du génotype résultent en des variations phénotypiques, qui constituent la matière première permettant de réussir cet exercice de résolution de problème. Dans cette optique, la sélection naturelle apparaît comme l'agent créateur ou formateur du processus évolutif, conférant aux organismes les formes et les comportements spécifiques qui sont appropriés aux conditions de vie du moment. Une fois de plus, nous remarquons que l'organisme est un médiateur au statut incertain entre les gènes, dont la variation provoque une diversité phénotypique aléatoire (au sens où elle n'est pas corrélée aux changements de l'environnement), et les pressions de l'environnement, auxquelles l'espèce doit s'accommoder pour survivre.

La grande idée dans la théorie néo-darwinienne de l'évolution est que les cycles de vie des organismes sont soumis à des changements héréditaires qui dépendent de l'équilibre dynamique entre les influences internes et externes sur les organismes ; les changements au niveau de la population dépendent de ces influences agissant sur les membres qui la constituent. Les limitations proviennent une fois de plus de n'avoir pas su reconnaître l'organisme comme un agent actif avec ses propres principes d'organisation, interposé entre les gènes et l'environnement. Les organismes choisissent et modifient leur environnement, et leur organisation dynamique intrinsèque limite les possibilités de changements héréditaires, limitant ainsi la variabilité dont dispose l'évolution. Cela semble être le seul moyen de comprendre le nombre limité des types de morphologie qui sont à la base de nos systèmes de classification, et d'expliquer pourquoi ils sont tous apparus dans une période relativement courte de l'évolution, le Cambrien, avec peu d'innovations fondamentales depuis [10].

De plus, les organismes eux-mêmes sont capables de réagir à leur environnement, si bien qu'une grande partie de la variabilité disponible pour le processus évolutif provient non pas de mutations génétiques aléatoires, mais d'une régulation intrinsèque de la plasticité de l'organisme vis-à-vis de l'environnement pendant son cycle de vie. Cette plasticité peut inclure une réponse génétique, dans la mesure où il a été montré que la pression exercée par l'environnement provoque des changements adaptatifs du génome chez un certain nombre d'espèces végétales [11]. Aussi la force créatrice attribuée à la sélection naturelle est-elle en fait très limitée [12].

L'importance des interactions concurrentielles dans la détermination du cours de l'évolution est un autre sujet actuellement débattu. Les organismes sont autant coopératifs que compétitifs [13], et ils vivent d'une façon qui en temps normal ne met pas en danger l'équilibre écologique. Les images plutôt rapaces et territoriales qui ont dominé les descriptions néo-darwiniennes des stratégies animales semblent être en grande partie une projection idéologique d'une société compétitive et individualiste [14]. Une description de l'évolution plus pertinente que celle fournie par la sélection naturelle (conception dérivée de la sélection des animaux

pour l'élevage) découle du concept de stabilité dynamique. L'environnement n'est pas plus responsable de la forme des organismes qu'un bain ne l'est du tourbillon de l'eau qui s'écoule. Bien sûr, sans baignoire, il n'y aurait pas d'écoulement et donc pas de tourbillon ; mais ce qui en produit la forme spirale est une combinaison des propriétés intrinsèques de l'état liquide de la matière, et de tous les paramètres qui interviennent dans ce processus dynamique (niveau d'eau, diamètre de la canalisation, force de gravité, etc).

Les descriptions néo-darwiniennes ont tendance à exagérer le rôle de l'environnement d'une part et celui des gènes de l'autre. Tous deux connaissent des changements aléatoires (sans corrélation mutuelle). Cependant, les organismes, eux, n'en subissent pas : ils évoluent de façon systématique et organisée, ce qui rend d'ailleurs la taxonomie possible. Ainsi les organismes transforment en quelque sorte un état aléatoire en état ordonné grâce à leur propres principes d'organisation dynamique, comme Waddington aimait à le souligner [15]. L'évolution consiste donc en une exploration des possibilités inhérentes de l'état vivant, concrétisé par des organismes aux formes et aux fonctions spécifiques. "L'adaptation" ne signifie ni plus ni moins que la stabilité d'une stratégie de vie dans un processus dynamique ; ce processus implique un ensemble de transformations ayant une forme cyclique dont la période est la durée d'une génération. Il n'y pas de dualité organisme/environnement dans ce processus, car la dynamique du cycle de vie s'étend de part et d'autre de la limite entre les deux. Les organismes, en termes thermodynamiques, sont des systèmes ouverts. Par exemple, il existe des organismes marins capables d'engendrer un champ électrique grâce à des flux ioniques qui s'étendent au-delà de leur enveloppe corporelle, si bien que dynamiquement ils sont en continuité avec leur environnement, et il en est de même avec d'autres types de flux. On peut si on le désire distinguer différents états d'organisation de la matière, par exemple entre les êtres vivants et la matière inerte, entre les solides et les liquides, etc. Mais puisque l'un peut être transformé en l'autre, les limites seront toujours floues et les différents états sont liés par la transformation. Ainsi, la dualité est remplacée par la transition entre états dans une dynamique unifiée, de sorte qu'il n'y a pas plus de dualité entre les organismes

et l'environnement qu'entre les os et les muscles dans un organisme, ou le nucléus et le cytoplasme dans une cellule.

Penser en termes de processus

L'argumentation de cet article conduit inexorablement à la proposition familière selon laquelle la vie est faite de processus et de transformations. Les limitations problématiques des dualités examinées plus haut proviennent de la tentative d'expliquer la stabilité (d'une espèce ou d'un état d'adaptation) en fonction de quelque chose de statique et de stable (génome ou niche environnementale) au lieu de quelque chose de dynamique (cycle organisme-environnement). Cela s'applique aussi aux tentatives d'expliquer la stabilité du comportement (instinct, habitudes) ou de l'activité cognitive (reconnaissance, mémoire) en terme de 'représentations' ou 'modèles internes' statiques. Tous ces dualismes peuvent être imputés aux catégories conceptuelles de la philosophie cartésienne, selon laquelle il existe des objets élémentaires ou "atomiques" soumis à des forces externes, de telle sorte que le changement est dû aux relations huméennes de cause à effet entre ces objets. Le fait que ces objets soient constitués d'éléments plus fondamentaux, selon une catégorisation hiérarchique (molécules, cellules, organismes, espèces) n'y change rien : ces objets et les actions dans lesquelles ils sont impliqués ne sont que des mécanismes morts car ils n'ont pas de vie propre. Ceci est précisément la façon dont Descartes voyait les choses : toutes ces entités sont en fait des machines, des automates. Néanmoins, comme nous l'avons vu, cette conception conduit à de nombreuses contradictions et difficultés à cause de la prolifération de dualismes à chaque fois que l'on tente d'analyser des processus en termes statiques. Une fois de plus, cette vue n'est pas nouvelle : Zénon nous l'a enseignée il y a bien de siècles. "Il ne peut y avoir de doute que la conception huméenne de la Causalité [...] doit être fausse" ont écrit Harré et Madden [16]. L'alternative est d'affirmer la primauté des processus, de sorte que les changements dûs à la puissance immanente soient essentiels, tandis que les "choses" restant dans un état stable en dérivent et nécessitent une explication.

C'est ainsi que nous sommes conduits à la dialectique, à une logique de processus.

Une théorie du processus poussée à son terme conduit à quelques conséquences saisissantes. Si le changement est considéré comme une primitive, nous devons cesser de concevoir le mouvement comme quelque chose qui arrive aux objets et qui est causé par des forces extérieures dans un cadre d'espace-temps préexistant. La causalité devient immanente plutôt que contingente, et ce que nous appelons des objets et leurs environnements sont des formes complémentaires auto-génératives. Il n'y a pas de figure sans fond, et le seul critère d'adéquation est la stabilité dynamique. Ainsi, la signification d'un processus doit être découverte simplement en percevant et en connaissant la relation de complémentarité entre l'événement et son contexte. L'espace-temps est un contexte approprié pour décrire une action localisée liée à des intentions particulières, mais il est généré et maintenu par l'intention et l'action ; il ne s'agit pas d'une donnée pré-existante. Il en est de même pour tout type de stabilité : elle est entretenue activement aussi longtemps que l'intention persiste, après quoi on revient à une phase de changement. Ainsi, tout se transforme tôt ou tard et tout n'est que flux, sans que ce soit le chaos.

Un processus possède une logique propre. Il ne s'agit pas d'une logique classique bi-valuée, laquelle aboutit à une contradiction dès qu'elle est confrontée à des processus qui combinent des propriétés de continuité et de transformation. Il faut une logique dans laquelle toute valeur soit un aspect de l'ensemble des valeurs, en vertu de leur interdépendance profonde, et dans laquelle il n'y ait pas de valeur logique absolue comme dans le schéma classique [17]. C'est le seul moyen qui permette de résoudre le problème de l'ordre fondamental des relations dans les processus d'espace-temps. Russell a démontré que la logique classique, avec sa loi de la tierce exclue, est incompatible avec la condition d'une telle relation interne entre les composantes d'un système dynamique ; car selon une telle logique, soit la relation fait partie de la nature des composantes, soit les relations s'identifient aux éléments eux-mêmes [18]. Aucune des deux alternatives ne satisfait à la condition fondamentale d'une interdépendance telle que toute 'partie' englobe le tout [19].

Champs et formes

Néanmoins, l'ordre relationnel est précisément ce qui caractérise la condition des organismes. Comme nous l'avons vu, ce n'est pas la composition qui détermine la forme et la transformation organique, mais l'organisation dynamique. Classiquement, l'ordre relationnel d'espace-temps est décrit par des champs, et les équations de champ en décrivent la dynamique. C'est l'absence d'une théorie des champs adéquate pour décrire les cycles de vie des organismes et les processus cognitifs qui explique les insuffisances sérieuses de notre compréhension des organismes et des esprits, de l'évolution et de la cognition. Dans la mesure où elles existent actuellement, de telles théories — par exemple du développement embryonnaire — nous donnent quelques indications sur le type d'ordre spatio-temporel dynamique qui pourrait être à la base de la génération des formes biologiques [20].

De plus, il semble que les descriptions en termes de champs sont bien propres à la formulation de la logique de processus décrite plus haut. Harré et Madden se sont justement penchés sur la question des meilleurs moyens de remédier aux insuffisances de la causalité cartésienne ou huméenne, et ils en concluent qu'une alternative peut être dérivée du concept de champ [21]. Ils citent Faraday (1857) sur la notion de force ou de puissance : "Ce que je veux dire par le mot [force] est la *source* ou les *sources* de toutes les actions possibles des particules de l'univers : celles-ci sont souvent appelées *puissances* de la nature quand elles sont mentionnées dans le contexte des différentes façons dans lesquelles leurs effets sont démontrés". Ils continuent ainsi :

Les "lignes de force" représentent la structure directionnelle des puissances ou potentiels, distribués dans l'espace. L'entité fondamentale devient alors un seul champ unifié en perpétuel changement au fur et à mesure que sa structure évolue d'une certaine distribution de potentiels à une autre [22].

Cette vision d'un champ dynamique unique et unifié, avec différentes qualités et puissances, va bien au-delà de ce que j'ai voulu décrire à propos de l'ordre organique. Cependant, si nous voulons considérer sérieusement la dialectique de processus, nous

sommes conduits à cette théorie, qui est bien lointaine du monde cartésien du mécanisme. Whitehead a formulé la distinction de la façon suivante, condensée, voire cryptique :

Descartes, dans sa philosophie, conçoit le penseur comme le créateur d'une pensée passagère. La philosophie de l'organisme renverse cet ordre et conçoit la pensée comme une opération constitutive lors de la création d'un penseur passager [...]. Dans cette inversion se trouve le contraste radical entre une philosophie de la substance et une philosophie de l'organisme [23].

Si j'ai bien compris, cela signifie que ce ne sont pas les objets (par exemple des penseurs) qui créent des pensées ; ce sont des processus qui créent des formes complémentaires, telles que les penseurs et les pensées pris ensemble, avec la constellation dynamique de phénomènes qui les accompagnent. Ainsi, l'esprit n'est pas plus dans le cerveau que la vie n'est dans l'organisme. Ce sont des aspects de processus organisés qui existent dans une relation dynamique, une boucle de transformation entre la pensée et l'action, générée à travers la limite floue entre l'interne et l'externe, le sujet et l'objet. La vie est un ordre relationnel vécu à l'interface où les formes sont engendrées. L'embryon en cours de développement se replie en couches qui modulent les flux de son ordre interne-externe dynamique d'une manière caractéristique dans différents tissus. Le cerveau est un labyrinthe de surfaces repliées, un domaine complexe de cartes, de projections et de transformations, qui créent une richesse inouïe d'expérience relationnelle entre l'interne et l'externe, une expérience qui tire sa signification d'une complémentarité entre la figure et le fond, entre l'événement et le contexte.

Alors, quel est le destin du dualisme de Descartes à propos des organismes et des esprits ? Pour lui, l'organisme était une machine, un automate. Notre culture scientifique a tenté de valider cette proposition, mais l'organisme a résisté tout comme l'esprit a résisté. Ceci nous mène vers une conclusion bien différente. Un organisme est un centre de puissance immanente, auto-génératrice ou créatrice, organisée en fonction d'un ordre relationnel qui résulte en un motif périodique de transformations (cycles de vie) impliquant des composantes historiques et actuelles (les gènes et l'environnement) et des universaux biologiques (l'ordre de l'état vivant). Tout être

vivant est à la même fois sa propre cause et son propre effet, une activité purement auto-réalisatrice. Il est *natura naturans* plutôt que *natura naturata*, créatif plutôt que créé, législateur plutôt qu'obéissant à des lois, celui qui fabrique plutôt que celui qui exécute. Cependant, une philosophie organique nous force à conclure que, dans un certain sens fondamental, la majeure partie de cette description peut être appliquée à d'autres aspects du monde tel que nous le connaissons [24]. En ce sens, le monde est aussi un organisme, ce qui à la fois nous ramène à une vision ancienne de la réalité comme étant un processus vivant et nous projette vers une nouvelle appréciation de cette vision. Il y a bien entendu de grandes différences entre les différents aspects de ce champ unifié et vivant, puisqu'il existe des transitions locales qui créent des frontières que nous utilisons pour distinguer les différentes conditions d'ordre. Cependant, tout est unifié par la transformation. La dialectique actuelle en biologie conduit à l'un de ces changements saisissants de perspective culturelle qui réintroduit la puissance auto-génératrice comme réalité fondamentale et qui bannit le mécanisme.

Cette conclusion est renforcée par les développements récents en physique, où la causalité locale comme principe explicatif élémentaire s'est effondrée et a été remplacée par un concept de d'interdépendance non-locale [25]. Par exemple, deux particules initialement dans un état techniquement décrit par une fonction d'onde non-décomposable et qui se séparent (comme deux photons émis d'un même atome) ont des états corrélés, sans que la distance qui les sépare ait une importance. Par ailleurs, un changement de la procédure de mesure concernant un photon aura un effet immédiat sur l'autre, même si ce changement est effectué après la 'séparation'. Ainsi, ces deux particules ne peuvent être considérées indépendamment, quelle que soit la distance qui les sépare.

Ces phénomènes sont des conséquences directes de la mécanique quantique, reconnues par Einstein, Podolsky et Rosen dès 1932 mais qui n'ont été démontrées expérimentalement que récemment. Bohm et Hiley ont introduit un nouveau concept, le potentiel quantique, pour décrire ces propriétés [26]. Cependant, une compréhension conceptuelle de tels phénomènes nécessite une réorganisation de notre vision fondamentale de la réalité, ce qui a été décrit avec perspicacité par Bohm [27]. L'effondrement de la

causalité mécanique comme principe explicatif de la science nous confronte au défi de remplacer des mécanismes automatiques par une autre conception des processus et de l'ordre. La conclusion de cet article est que les propriétés des organismes et des esprits en tant que formes dynamiques nous emmène dans la même direction que la physique fondamentale, vers une conception de la réalité représentant une constellation de champs avec des forces causales immanentes qui engendrent des états caractéristiques de processus ordonnés. En biologie, cette perspective définit des axes de recherche bien différents de ceux dérivés du mécanisme moniste de la théorie contemporaine de l'évolution, comme nous l'avons décrit ailleurs [28,29]. Le défi dans ce cas est de trouver une solution au problème de la forme en termes dynamiques qui réunissent l'histoire avec l'ordre, la créativité avec l'intelligibilité.

B. C. GOODWIN,
 Developmental Dynamics Research Group,
 Department of Biology, The Open University,
 Walton Hall, Milton Keynes,
 MK7 6AA, U.K.

Références et notes

- 1) Noam Chomsky, *Language and Responsibility* (Sussex: Harvester Press, 1979).
- 2) Noam Chomsky, *Cartesian Linguistics: A Chapter in the History of Rationalist Thought* (New York: Harper & Row, 1966).
- 3) Noam Chomsky, *Language and Mind* (Berkeley, Ca: University of California Press, 1968).
- 4) M. Piatelli-Palmarini, *Language and Learning: The Debate Between Jean Piaget and Noam Chomsky* (London: Routledge & Kegan Paul, 1980).
- 5) Chomsky [3], p. 83.
- 6) M. W. Ho et P. T. Saunders, Eds., *Beyond Neo-Darwinism: An Introduction to the New Evolutionary Paradigm* (London: Academic Press, 1984).
- 7) J. W. Pollard, Ed., *Evolutionary Theory: Paths into the Future* (London: Wiley, 1984).

- 8) Pour une formulation classique, voir E. S. Russell, *Form and Function* (London: Murray, 1916) ; pour des analyses récentes, voir B. C. Goodwin, "What are the causes of morphogenesis?", *Bio Essays* **3**, 32-35 (1985), et "Developing organisms as self-organizing fields", in *Mathematical Essays on Growth and the Emergence of Form*, P. L. Antonelli, Ed. (University of Alberta Press, 1985), pp. 185-200.
- 9) Il existe une forte analogie entre le programme génétique capable d'imposer une forme à l'organisme, et les "Idées" capables d'animer le "Corps". Voir G. C. Webster et B. C. Goodwin, "The Origin of Species: A Structuralist Approach", *J. Soc. Biol. Struct.* **5**, 15-47 (1982).
- 10) Voir, par exemple, W. Arthur, *Mechanisms of Morphological Evolution* (London: Wiley, 1984) ; et R. G. B. Reid, *Evolutionary Theory: The Unfinished Synthesis* (London: Croom Helm, 1985).
- 11) C. A. Cullis, "Environmentally-induced DNA Changes", in Pollard [7].
- 12) M. W. Ho, "Genetic Fitness and Natural Selection: Myth or Metaphor", in *Evolution of Social Behaviour and Integrative Levels* (Third T.C.Schneirla Conference, New York, 1985).
- 13) P. Bateson, "Sociobiology and Human Politics", in *Science and Beyond*, S. Rose and L. Appignanesi, Eds., (Oxford: Basil Blackwell, 1986) pp. 79-99.
- 14) R. Lewontin, S. Rose & L. Kamin, *Not in Our Genes* (New York, Plenum Press, 1984).
- 15) C. H. Waddington, *The Strategy of the Genes*, (London: George Allen & Unwin, 1957).
- 16) R. Harré & E. H. Madden, *Causal Powers. A Theory of Natural Necessity* (Oxford: Basil Blackwell, 1975).
- 17) I. Jerman, "Some Problems and Perspectives in a Dynamic Understanding of Life and Organisms", *Synthèse* (1986).
- 18) B. Russell, *My Philosophical Development* (London: Allen & Unwin, 1959).
- 19) D. Bohm, *Wholeness and the Implicate Order* (London: Routledge & Kegan Paul, 1980).
- 20) H. Meinhardt, *Models of Biological Pattern Formation* (London: Academic Press, 1982) ; G. F. Oster & G. M. Odell, "The Mechanochemistry of Cytogels", *Physica* **D12**, 333-350 (1984) ; et B.C.Goodwin & L.E.H.Trainor, "Tip and Whorl Morphogenesis in *Acetabularia* by Calcium-Regulated Strain Fields", *J. Theoret. Biol.* **117**, 79-106. (1985).
- 21) Harré & Madden [16].
- 22) Harré & Madden [16] p. 175.
- 23) A. N. Whitehead, *Process and Reality* (Cambridge: Cambridge University Press, 1929).
- 24) A. Watson, *The Birth of Structure: A Twentieth-Century Copernican Revolution* (Ph.D. thesis, University of Sussex, 1986).

- 25) Paul Davies, *Other Worlds: Space, Superspace and the Quantum Universe* (New York: Simon & Shuster, 1981).
- 26) D. Bohm & B. J. Hiley, "An Ontological Basis for the Quantum Theory. I. Non-relativistic Particle Systems", *Physical Reports* **144**, 323 (1987).
- 27) Bohm [19].
- 28) Webster et Goodwin [9].
- 29) B. C. Goodwin, "Changing from an Evolutionary to a Generative Paradigm in Biology", in Pollard [7] pp. 99-120 ; voir aussi Goodwin [8].