

CHAPITRE VII

ENTRE PHYSIQUE ET BIOLOGIE

Ce chapitre sera donc consacré principalement à l'exploration, forcément partielle et fragmentaire, d'un confin précis, entre physique et biologie. Pour commencer nous nous contenterons d'examiner le fonctionnement d'une seule et même catégorie d'intelligibilité, celle de *causalité*, selon qu'on se situe dans un secteur de scientificité ou dans l'autre. Après quoi nous tenterons d'empiéter sur le domaine de la détermination, plus conceptuelle que proprement théorique, des *objectivités* à travers leurs caractéristiques disciplinaires. Nous terminerons avec l'analyse des comparaisons possibles entre des *structures formelles* que nous tenterons de dégager, non pas de façon absolue, pour chacune d'entre elles prise séparément, mais dans les rapports conceptuels qu'elles peuvent mutuellement entretenir.

1. CAUSALITES

Nous ne chercherons pas à dresser un tableau systématique et exhaustif des questions relatives à la causalité. Cela nous serait impossible. Nous nous contenterons de présenter d'abord quelques remarques générales comparant la situation à cet égard dans diverses disciplines et surtout, nous tenterons d'approfondir ces comparaisons dans le cas de la confrontation entre physique et biologie.

1.1. Généralités

En mathématiques on ne saurait concevoir de "causalité" au sens habituel du terme : il n'y a que des enchaînements logiques, une déductibilité pure, à l'oeuvre selon un dispositif strictement inférentiel (il s'agit évidemment des mathématiques une fois qu'on les a constituées et non pas en tant qu'on les produit). Même si les structures théoriques réagissent les unes sur les autres et même si parfois une sorte de causalité formelle peut sembler opérer, il serait abusif d'utiliser le terme alors que la création mathématique est libre et que les règles qui en régissent la mise en forme sont des contraintes de raisonnement et de procédure. La réalité objective des idéalités mathématiques n'est pas causale, ni causalement déterminée (ou guidée) au niveau de leur existence et de leurs propriétés.

En physique, au contraire, la causalité constitue un postulat (méthodologique au moins) sans lequel cette discipline ne pourrait élaborer ses concepts, ses méthodes, ses réalisations. Cette causalité est totale (rien de physique ne saurait s'y soustraire), externe aux objets (elle régit les interactions entre éléments supposés donnés et stables dans le domaine de leur étude), immédiate (l'effet comme tel se déduit de la cause sans aucune médiation, même si cet effet en tant que phénomène se traduit par une cinétique ou une propagation).

En biologie, la catégorie continue d'opérer à plein, mais elle présente des caractères de réalisation assez différents qui dépendent éminemment des niveaux d'organisation considérés. Comparable à celle de la physique et de la chimie dans le cas de la biologie moléculaire, de la biochimie ou des propriétés physiques des constituants (masses, forces, flux...), elle en diffère notablement au niveau physiologique, fonctionnel. A ce niveau, la causalité est partielle (tout constituant biologique ne suit pas nécessairement la règle fonctionnelle, même si la grande majorité le fait, assurant ainsi la fonction : il y a des déviations, des pathologies...) ; elle peut être interne aux objets de l'analyse et de l'expérience (par exemple sous l'effet d'un programme qui les conditionne dans leur développement ou leur fonctionnement) ; elle peut être différée dans le temps (bien que toute l'information soit contenue dans le programme, celui-ci se déroule à son rythme et à condition que les médiations adéquates s'exercent - environnement, développements concomitants -). Ces traits se prêtent bien, avons-nous vu, à une interprétation en termes de finalité en travail, mode de causalité qui serait, comme nous l'avons déjà discuté, particulièrement pertinent pour la biologie (ce qui ne s'oppose nullement, rappelons-le, à l'effet d'une causalité plus classique, physico-chimique, à un autre niveau d'organisation).

Dans les sciences sociales et humaines, ces particularités et distinctions s'accroissent au point que la causalité semble se scinder en deux branches qui divergent : l'une où l'on étudie des interactions et où l'on relève des corrélations (bien plus que des séquences causales à proprement parler) entre "faits" et phénomènes et l'autre où l'on perçoit une intention, une orientation, qui cherche à "faire" et met en oeuvre la volonté. C'est de la première branche que s'occupent essentiellement les disciplines des sciences sociales et humaines et leur épistémologie.

Si l'on veut développer un point de vue plus formel, applicable de façon un peu analogique à partir de caractérisations applicables dans les secteurs mathématisés des disciplines, on peut adopter une représentation sommaire, fondée sur une détermination mathématiquement fonctionnelle des phénomènes. Par exemple, dans le cas où les rapports entre phénomènes sont modélisés par une fonction suffisamment régulière pour avoir un développement de Taylor, on pourra convenir de définir comme cause de rang j pour une dépendance du phénomène E , représentée par la fonction $f(E = f(x))$, un autre phénomène participant à E dont la suppression (l'annulation de participation) entraîne l'annulation de toutes les dérivées de f à partir de l'ordre j . La "force" causale d'un phénomène pour un autre est alors d'autant plus grande que j est plus faible et l'on pourra appeler "condition d'existence pour E " tout phénomène participant à E dont la suppression annule f .

Dans le cas d'une situation singulière pour laquelle le développement de Taylor ne vaut plus (associée par exemple à des phénomènes critiques), il en résulte que la cause d'un phénomène caractérisé par une telle transition critique doit toujours être représentée par un phénomène qui joue un rôle causal de rang 0, c'est-à-dire ayant rang de condition d'existence ; tout autre phénomène dont la suppression ne conduirait pas à la suppression concomitante de la transition critique qui constitue le phénomène observé E ne peut alors être considéré comme jouant un rôle causal dans ce phénomène.

1.2. Causalité physique et causalité biologique

Revenons sur la comparaison entre physique et biologie pour essayer d'en approfondir analogies et dissemblances. Commençons par les différences principales, que nous avons déjà relevées.

La causalité physique est externe (aux éléments), avons-nous vu, en ce que les lois qui régissent les éléments d'un système physique sont radicalement hétérogènes à ces éléments pour lesquels elles sont valides universellement et indépendamment de leurs configurations plus ou moins particulières. Une image (grossière) que l'on pourrait en donner, est celle d'éléments discrets, bien délimités et individués, quoique plus ou moins interchangeables, dont les lois d'interactions expriment des effets délocalisés sous forme de champs extérieurs à ces éléments.

Dans la situation biologique, au contraire, les processus opèrent autant dans les éléments qu'entre eux et de plus, les règles générales que l'on peut dégager sont plutôt des tendances qui s'imposent globalement, mais pas universellement : nous l'avons noté, il peut y avoir des déviations viables, des situations ou éléments pathologiques ou simplement différents, bien que concourant à une même fonction. Le caractère interne est d'autant plus manifeste qu'il se traduit souvent en termes de déroulement et expression d'un programme dont l'existence est en quelque sorte préalable à celle des phénomènes considérés, programme qui régule tout à la fois les rapports entre constituants et la genèse même de ces constituants (comme dans le cas de la différenciation cellulaire, par exemple).

Ces questions ont été abordées dans le chapitre II, où nous en avons fait état pour discriminer entre différents types d'ordres et parvenir à les énoncer formellement. Nous n'y reviendrons donc pas ici. En revanche, ce que nous avons dit du caractère d'immédiateté de l'effet en physique et de la latence en biologie est un critère de distinction que nous n'avons pas encore discuté.

L'aspect immédiat de la causalité physique tient fondamentalement au fait que définition de l'objet et lois d'interaction doivent finalement se présenter dans un seul et même mouvement de délimitation du réel, ne plus pouvoir se séparer (même si l'objet est encore hypothétique ou si les lois sont encore à découvrir). Penser un objet physique sans ses interactions doit devenir impossible, contradictoire. L'attitude mentale et opératoire de l'anticipation du physicien, dans le calcul,

l'observation, la mesure ne peut éviter de faire fond sur cette co-occurrence nécessaire : se donner des objets, c'est se donner en même temps leurs systèmes de déterminations (même virtuels) ; considérer un système causal physique, c'est sous-entendre des objets physiques qui y répondent et sur lesquels on pourra effectuer des mesures. C'est aussi ce qui se traduit et s'exprime dans la formalisation mathématique des lois qui gouvernent ces objets.

La situation est tout autre pour la biologie, qui n'entretient d'ailleurs pas le même genre de rapport avec la mathématisation. Comme on l'a déjà souligné, les conditions grâce auxquelles une causalité pourtant préprogrammée peut se déclencher effectivement, jouent un rôle qui peut être déterminant. Les effets de cette causalité peuvent même ne pas se déployer, sans que pour autant le système disparaisse, si ces conditions sont absentes ou affaiblies (sous-développement local, non actualisation de facultés...). Cette particularité se conjugue avec celle qui autorise des éléments équivalents d'un même système à ne pas tous répondre de la même façon à une même sollicitation et contribue ainsi à substituer ce qu'on peut appeler une causalité locale faible à la causalité locale forte de la physique. En revanche devient dominante une causalité globale : les fonctionnements d'ensemble sont assurés malgré la tolérance aux écarts, les fonctions de l'organisme sont remplies (pas seulement en moyenne mais précisément). En cela semble se révéler un caractère téléologique de cette causalité.

Poussons donc le contraste en nous intéressant brièvement au registre épistémologique lui-même comme cette remarque nous le suggère.

Si en physique ce qui explique et ce qui cause sont étroitement apparentés (par exemple ce qui "explique" l'existence de la molécule d'eau, à savoir l'état plus stable de H_2O que celui de $H_2 + \frac{1}{2} O_2$, une fois franchie la barrière d'énergie d'activation, correspond à ce qui "cause" la formation de la molécule - il en va de même avec des lois de type variationnel -), en revanche en biologie une distinction fondamentale entre ces deux approches (explication et cause) semble devoir s'imposer - ou au moins conserver une signification heuristique et opératoire.

Ainsi on peut sans doute cantonner "la cause de" dans le registre de l'efficience et la faire correspondre assez bien à une vue réductionniste (physicaliste ou morphologique selon la dominance) ; il s'ensuit que c'est ce qui "explique" (que telle série de causes ait été retenue plutôt que telle autre) qui relève plutôt d'une représentation finaliste (par exemple quand on invoque des avantages adaptatifs dans le cas d'une théorie de l'évolution). D'une certaine façon on pourrait dire qu'une biologie de l'évolution se situerait plutôt du côté de l'explication (par la prise en compte de l'ensemble de ses effets sélectifs), alors qu'une biologie du fonctionnement serait plutôt du côté d'une causalité analytique. Par exemple, la cause des échanges gazeux entre gaz carbonique et oxygène dans la respiration pulmonaire, est indubitablement à situer dans les diverses propriétés de membranes, les différences de pressions partielles, les dynamiques des fluides ; mais l'explication de ces échanges en tant que processus essentiels à la survie, à un niveau supérieur d'intégration, est non moins sûrement à situer dans la fonction qu'ils remplissent relativement à l'organisme qui en dépend (n'eussent-ils pas été efficacement adaptés, ils n'auraient pu durer - l'organisme n'aurait pu se maintenir - quand bien même les causes physiques qui les régissent n'auraient en rien été modifiées).

Ces considérations rejoignent à certains égards les distinctions conceptuelles introduites par Peirce [1] en toute généralité, entre ce qu'il appelle le "dyadique" et le "triadique". Considérant trois événements A, B, C, qui se produisent successivement, il pose que si la production de C par B est indépendante (très abstraitement parlant) de celle de B par A, il y a alors action dyadique, tandis que si A produit C au moyen de B (souligné par Peirce et là encore à prendre en un sens abstrait, il s'agit de la médiation et non de l'instrumentalisation), alors il y a action triadique. De ce point de vue la causalité physique jouerait essentiellement dans le registre du dyadique, alors que c'est l'aspect triadique qui l'emporterait en biologie (contribuant à renforcer une perspective finaliste). Cet aspect triadique pourrait en effet renvoyer à la caractérisation fonctionnelle mettant en jeu les niveaux d'organisation correspondants (rapports organes et organisme *via* les conditions fonctionnelles).

Les contrastes entre physique et biologie étant soulignés, il convient cependant d'apporter un correctif à l'aspect péremptoire des considérations concernant la causalité physique. Ce faisant nous

serons amenés à dégager des analogies tout à fait inattendues entre des schèmes conceptuels relatifs à certains secteurs de la physique (la physique quantique) et à certains secteurs de la biologie (la biologie des fonctionnements).

On sait que la question de la causalité physique fait problème dès lors que l'on examine et discute les fondements interprétatifs de la mécanique quantique : non seulement le caractère d'immédiateté semble faire défaut (effet des corrélations probabilistes, problème spécifique de la mesure et de la définition de l'état du système entre deux mesures...) mais en outre l'universalité semble elle aussi ébranlée, par exemple dans un phénomène tel que celui de la désintégration spontanée : quels atomes se désintègrent parmi beaucoup, pour assurer une demi-vie bien définie et propre à l'atome lui-même ? Si l'on argumente sur ce point en soutenant que la loi physique ne porte pas en réalité sur le comportement individuel des atomes qui, au cours d'une même durée, se désintègrent ou non, mais sur la totalité qu'ils constituent, alors c'est le caractère d'externalité de la loi par rapport aux constituants qui est remis en cause.

Ce n'est pas la première fois que nous sommes conduits à mettre en évidence en physique quantique des traits formels, qui en rapprochent la structure conceptuelle, logiquement parlant, de celle de la biologie : nous avons fait des remarques similaires à partir des mêmes exemples quand nous avons discuté la question des "ordres", au chapitre II. Il y a un aspect quelque peu surprenant, mais fort intéressant, de parentés conceptuelles possibles entre éléments d'objectivité de disciplines très différentes et c'est ce que nous examinerons au prochain paragraphe. Dans le même mouvement, nous discuterons de certains aspects de la construction des objectivités en biologie, en abordant la question d'éventuels facteurs de détermination *a priori* de ses objets (relativement à l'espace, au temps, à l'organisation) et de la nature des contraintes qui leur sont associées.

2. OBJECTIVITES

2.1. Individuation biologique et non séparabilité quantique

Il peut sembler incongru de rapprocher la structure de compréhension et d'objectivation de la mécanique quantique (avec son ultra-formalisation mathématique) de celle de la biologie (assez rétive à une telle mathématisation). Mais en fait, c'est moins la spécificité des disciplines qui, chacune, exercent leur opérativité propre selon leurs modes et leurs objets propres, qui se trouve en jeu ici, que le niveau d'abstraction plus élevé qu'engagent leurs systèmes conceptuels interprétatifs et les catégories d'intelligibilité qui peuvent leur être associées. En effet si parenté formelle il y a, celle-ci ne doit pas non plus trop nous inquiéter : il existe de nombreux systèmes logiques et axiomatiques dont les "réalisations" peuvent n'avoir aucun rapport phénoménal entre elles. Ainsi la structure de groupe se retrouve-t-elle, au delà des modèles mathématiques eux-mêmes, dans de nombreuses théories physiques sans rapports entre elles quant à leurs objets, et jusqu'en psychologie (groupe INRC de Piaget [2] par exemple), au point que Ullmo [3] considère cette structure comme cognitivement fondamentale pour la démarche scientifique elle-même.

Restons pour commencer dans le domaine de l'analogie et considérons la question du rapport entre un tout constitué et ses parties : l'essentiel tient dans cette remarque que dans les domaines quantiques ou biologiques, *ce qui s'additionne n'est pas ce qui se mesure*.

En physique quantique il s'agit essentiellement de la différence fondamentale entre amplitudes de probabilité (qui s'additionnent) et intensités (qui se mesurent). D'où, par exemple, les phénomènes d'interférence ; d'où aussi la notion d'une totalité du système non réductible à la superposition de chacun de ses éléments supposés (le carré de la somme est différent de la somme des carrés).

En biologie, quelque chose d'analogique apparaît dans le fait que (*via* les métabolismes, homéostasies, échanges internes et avec le milieu extérieur) le tout est plus que la somme de ses parties, c'est-à-dire que l'organisme vivant et les phénomènes associés qui se mesurent ou s'observent ne sont pas simplement réductibles à une somme portant sur leurs composants (ce qui s'additionne). Il est intéressant (sans être surprenant) de constater que l'on parvient à rendre compte d'une telle situation

par l'introduction de dynamiques non linéaires régissant la composition des éléments participant au système. On peut trouver là le pendant du rapport entre intensités quantiques et amplitudes : c'est la *non-linéarité* des compositions générant les observables pertinentes qui semble constituer l'élément clé de la comparaison.

Essayons d'approfondir un peu plus la démarche, en considérant la question de la non séparabilité. Nous avons discuté certains aspects de l'individuation biologique dans les chapitres de la première partie, en soulignant notamment l'importance fonctionnelle qu'y jouent les géométries fractales, pour les changements de niveaux d'organisation, et les attracteurs étranges des dynamiques, pour les fonctionnements biologiques, dans l'articulation entre structures et fonctions ; nous pouvons tenter de rapprocher la non séparabilité quantique de cette individuation totalisante.

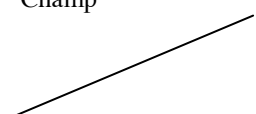
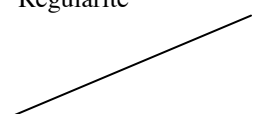
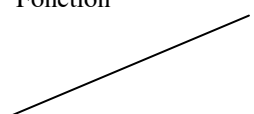
Pour ce faire nous prendrons appui sur un article récent de Lévy-Leblond [4] où l'auteur s'interroge sur la nature de l'approximation qui autorise un physicien à considérer une séparabilité de ses objets d'étude. Posée de cette manière, la problématique séparabilité/inséparabilité, telle qu'elle est usuellement conçue, est complètement renversée (habituellement, en effet, on fait de la séparabilité le cas général et la difficulté réside alors dans la non séparabilité qu'il faut expliquer). Nous suivrons cette démarche pour envisager une séquence de conjectures à ce sujet, à rapprocher de la situation de la biologie :

(i) L'approximation qui autorise la séparabilité des objets physiques est la même que celle qui rend licite (valide pour le problème considéré) la distinction entre champ et particule pour un quanton.

(ii) L'approximation qui autorise la distinction entre concept de champ et concept de particule est la même que celle qui autorise la distinction entre régularité et singularité¹ Le champ appelle une description en termes de fonctions régulières, en général, alors qu'en général aussi, la représentation de la particule exclut cette régularité (à la limite, la densité particulière n'est plus représentée à proprement parler par une fonction mais par une distribution).

(iii) La distinction opératoire entre régularité et singularité s'abolit dans le cas de certains objets fractals. Il en résulte que la limite de l'approximation considérée plus haut peut avoir rapport avec la limite entre objet usuel et objets fractals (définis dans l'espace convenable : une trajectoire de l'espace des phases, une forme géométrique dans un espace topologique, un diagramme de Feynman pour des ensembles d'interactions).

Le tableau suivant résumera alors les correspondances envisagées :

	Concepts physiques	Concepts mathématiques	Concepts biologiques
Non-séparabilité	Quanton	Fractal	Organisme
Séparabilité	Champ  Particule	Régularité  Singularité	Fonction  Organe

Nous ne prétendons évidemment pas que ce tableau ait valeur démonstrative, mais il offre l'avantage de rendre patente la parenté de certaines structures conceptuelles entre les domaines considérés, malgré leur différence radicale de contenu. Bien entendu, une investigation plus approfondie et qui voudrait s'engager sur la voie d'une réelle théorisation, devrait examiner soigneusement les formalismes mathématiques qui, en physique quantique, traitent et expriment la non séparabilité, pour tenter d'en interpréter les données, les opérations, les résultats, dans des termes qui

¹ Le sens auquel nous prenons ici les termes de régularité et de singularité est le sens mathématique tel qu'on l'utilise à propos des fonctions ; autrement dit, et pour simplifier, en rapport avec l'existence ou non d'ensembles de divergences - pôles, points singuliers... - pour des fonctions ou leurs dérivées à différents ordres.

pourraient avoir un sens pour l'intégration biologique (en considérant notamment les rapports entre systèmes et sous-systèmes quantiques comparés aux rapports entre organismes et organes biologiques). Si cela se révélait possible (et sans remettre en cause la spécificité biologique), on aurait alors réussi à transformer l'analogie entre les schèmes concernés en morphisme et construit, l'élément d'une nouvelle objectivité biologique (en même temps qu'on aurait peut-être apporté un éclairage particulier à la représentation physique, non pas évidemment dans sa théorisation, mais pour son intelligibilité).

2.2. Détermination a priori et contraintes objectives en biologie

Malgré les parentés que nous venons de relever à propos de la non séparabilité, il faut pourtant souligner qu'en général les grandes dichotomies qui sous-tendent les conditions d'intelligibilité en biologie, sont quelque peu différentes de celles qui prévalent en physique. Il faut traiter des rapports tout/parties (au lieu du rapport système/éléments), structure/fonction (au lieu de ordre/interactions). Il faut considérer l'opérateur de règles globales à grande variabilité locale (par contraste avec les effets de lois absolument universelles), mettre en jeu dans l'explication causale des téléonomies, *via* des programmes génétiques par exemple, (au lieu des effets directs associés aux interactions), retracer l'histoire d'une évolution biologique qui, par le jeu des variations/sélections, semble complètement aléatoire (au lieu d'un processus cosmogonique censé être principalement déterminé). Alors que la mathématisation en physique semble toucher à la nature des choses mêmes, c'est-à-dire semble être dotée d'une portée quasiment ontologique, en biologie on en est encore au point où les tentatives de mathématisation - quand elles paraissent pertinentes - comportent surtout une valeur épistémique.

Néanmoins, on peut se demander si, à l'instar de ce qui se passe en physique, il existe en biologie aussi de grands principes théoriques et pas seulement heuristiques, qui peuvent jouer un rôle déterminant et révéler des structures mathématiques d'où l'on pourrait finalement dériver ces principes. Notamment existe-t-il des invariances biologiques, des lois de conservation ou d'optimalisation, des symétries essentielles, etc. ?

En ce qui concerne les invariances propres au vivant, on pourrait citer par exemple l'existence du code génétique, ainsi que celle de programmes d'expression génétique (la reproduction, sexuée ou non, des organismes, en est une manifestation globale évidente, dont le pendant local est à rechercher dans les structures macromoléculaires des ADN). Ou encore l'existence d'un métabolisme (échanges matériels et énergétiques entre un système et son extérieur, en vue d'élaborer et de conserver l'organisation du système).

Dans le registre des symétries on trouverait par exemple l'existence de grands plans d'organisation des organismes (polarités antéro-postérieures, symétries bilatérales, répétitions segmentaires, etc.).

Mais nous n'avons pas l'intention de procéder ici à un recensement ni, *a fortiori*, à une formalisation de ces principes fondamentaux et de leur correspondances avec des structures mathématiques (ce domaine se développe grâce aux investigations de plus en plus abondantes menées par des spécialistes de biologie théorique [5], [9]). Nous chercherons plutôt à dégager la nature de certaines contraintes fondamentales relatives à l'espace et au temps, d'une part, à la dynamique et à l'organisation, d'autre part, qui s'imposent à la constitution même des organismes vivants; conditions de possibilité à travers lesquelles on pourra deviner le jeu de principes de détermination de l'objectivité biologique.

(i) Sur les contraintes d'espace

Pourrait-on concevoir une biologie qui ne se constituerait pas dans un espace de configuration à trois dimensions (comme on peut avoir des physiques uni- ou bi-dimensionnelles par exemple) ? La question n'est pas artificielle ; elle renvoie aux discussions sur l'organisation et sur la nécessité d'articuler le local et le global, le tout et les parties, etc. En effet, il est techniquement nécessaire de coupler, de façon non seulement compatible, mais aussi coopérative, une homogénéité globale (individuante) et des distinctions locales (fonctionnelles), et dans ce but, d'assurer des connexités

élevées tout en évitant les confusions et mélanges. Ce qui peut conduire au raisonnement (*a posteriori*) suivant :

Si la dimension de l'espace (d) est plus petite que trois ($d < 3$), on manque d'homogénéité et de connexité, car d'une part les voisinages entre éléments sont trop peu nombreux (4 plus proches voisins seulement dans un réseau carré par exemple) et de plus les voies de communication indépendantes doivent être trop restreintes ou trop compliquées, pour ne pas risquer de se couper et de se mélanger (deux lignes non limitées plongées dans un espace à 2 dimensions se coupent presque toujours en un point). La situation peut être considérée comme non fonctionnelle, par excès de différenciation et par la nécessité d'une trop grande complexité structurelle.

Si au contraire $d > 3$ on se trouve dans une situation inverse : connexité et homogénéité sont trop importantes pour préserver une différenciation locale suffisante, faisant appel à des structures élaborées gouvernant les transports et les échanges, assurant les fonctions globales et régulant les situations locales ; par exemple en physique, les théories de champ moyen sont exactes à partir de $d = 4$, ce qui peut s'interpréter en disant qu'il n'apparaît aucune nécessité de distinctions et de discriminations entre structures, pour assurer une globalité à partir d'interactions locales. La situation est cette fois non fonctionnelle par excès d'homogénéité et manque de différenciation structurelle.

Si $d = 3$ on peut espérer allier une connexité globale (à peine) suffisante pour coordonner une hétérogénéité (énormément) différenciante, quitte à recourir, pour l'articulation entre structures et fonctions, à des géométries un peu particulières, quoique biologiquement réalisables, qui favorisent les échanges et les transports malgré les contraintes antagoniques d'espaces restreints et de connexités maximales. Nous faisons ici allusion aux géométries fractales déjà mentionnées plus haut : réseaux arborescents plus ou moins linéaires occupant tout un volume, interfaces de dimensions métriques supérieures à 2, tout en restant des surfaces topologiques. Nous avons vu que par le biais de ces structures, on pouvait concevoir un jeu efficace de rapports entre tout et parties biologiques, entre différenciation adaptative et homogénéisation individuante [10]-[13].

(ii) Sur les contraintes de temporalité

Rappelons une remarque fondamentale dont nous avons déjà souligné l'importance : le temps n'est pas toujours pour la biologie une dimension constitutive au même titre qu'elle peut l'être pour la physique. En effet, du point de vue interne, la temporalité biologique, lorsqu'elle se manifeste par des processus périodiques autonomes, ne fait pas vraiment appel à une dimensionalité proprement physique (c'est-à-dire nécessairement exprimée dans des unités de mesure bien définies et spécifiques : secondes, heures...) ; les rythmes biologiquement pertinents, gouvernés par diverses horloges biologiques, se manifestent essentiellement comme des nombres sans dimension : le nombre de cycles respiratoires d'une vie de mammifère, par exemple, ou le nombre correspondant de battements de coeur. Il en résulte que la temporalité physique (que mesurent en l'occurrence les fréquences) peut bien varier d'une espèce à l'autre, néanmoins le fond biologique demeure invariant : il y a (approximativement) le même nombre absolu de cycles d'une espèce de mammifère à une autre (de la souris à l'éléphant) [14].

Comme, par ailleurs, il est bien connu que les durées biologiques, comme bien d'autres caractéristiques, entretiennent des rapports d'échelle (allométries, *scalings*) avec les masses des organismes considérés et ces rapports d'échelle sont particulièrement bien vérifiés et stables pour les durées de vie des espèces [15a], [15b], on peut aller jusqu'à dire que sous le rapport de ce genre de temps physiologiques propres, tous les mammifères sont représentés par un seul et même organisme vivant abstrait, caractérisé par les nombres purs correspondants. La diversification interspécifique provenant alors exclusivement du paramètre (plus ou moins "accidentel") que constitue la masse moyenne de l'espèce considérée.

Mais, deuxième remarque, il faut raffiner, car un organisme biologique n'est pas seulement un être individué relativement à ses cycles internes (qui correspondent aux fonctions physiologiques par exemple), il est aussi en relation très étroite avec un environnement extérieur dont la temporalité

(physique cette fois, le plus souvent) est radicalement distincte et fortement indépendante de la sienne (bien qu'il ait eu à s'y adapter pour survivre) et à laquelle il doit répondre en fonction des stimuli effectivement perçus.

On tendra donc à distinguer deux types de temporalité très différents. Le premier, interne, est lié aux fonctions vitales qui constituent l'individu comme tel ; par rapport au temps physique, il se présente essentiellement comme périodique, mais son trait dominant est précisément d'échapper aux caractérisations usuelles (dimensionnelles) du temps physique pour répondre à d'autres types de règles (importance des nombres sans dimension) propres aux descriptions biologiques. Le second, plus classique, intervient dans les relations de l'organisme avec un extérieur (c'est celui des fonctions de relations) ; ce temps apparaît comme essentiellement apériodique, constitué principalement de modes d'excitation et de relaxation. C'est l'organisme lui-même, pris comme individu dans son environnement, qui assure la compatibilité et la coordination de ces deux temporalités.

A côté de ces contraintes d'espace et de temps associées aux organismes biologiques et qui régissent leurs conditions d'apparition et de survie, on a aussi affaire à des contraintes moins formelles, quoique toujours abstraites, qui portent plus directement sur les conditions de fonctionnement de ces organismes. Nous nous limiterons à évoquer ici deux d'entre elles, qui jouent un rôle important pour la mise en évidence de principes d'intelligibilité régissant le vivant, à savoir les contraintes de nature dynamique et les contraintes d'organisation en niveaux.

(iii) Sur les contraintes dynamiques

Pour autant que les processus biologiques spontanés se développent vraiment sous le contrôle de dynamiques déterminées (au cours de l'embryogenèse, par exemple, mais aussi dans les processus de réparations ou de fonctionnements automatiques), celles-ci ne peuvent être quelconques et doivent correspondre, tant du point de vue de la modélisation que de celui de la nature de leurs produits, à des spécifications relativement précises et contraignantes (exprimées par les programmes génétiques qui les ont encodées). Par exemple, il faudra nécessairement délimiter et préserver une individuation, autoriser la complexification, trouver dans les acquis les conditions d'un développement ultérieur. Pour répondre à ces exigences on aura respectivement recours à [11] :

- des endomorphismes (qui conservent le domaine de définition),
- non linéaires (qui permettent la complexification et les changements de régime dynamique selon les valeurs de paramètres, sans changer pour autant la loi régissant la dynamique),
- récursifs (prenant comme conditions initiales d'une même dynamique ses états finaux antérieurs).

Ces aspects formels ne constituent évidemment pas des *a priori* pour des modélisations empiriques de fonctionnements particuliers, mais on peut s'attendre à les voir apparaître systématiquement dans les représentations théoriques des dynamiques intrinsèques des entités biologiques.

(iv) Sur les contraintes d'organisation en niveaux

Ce sont celles qui se trouvent associées, comme on l'a longuement discuté plus haut, avec la nécessaire articulation entre aspect structurel et aspect fonctionnel du fonctionnement biologique, qui jouissent d'une forme d'autonomie tout en concourant à une ontologie unique, celle du vivant qui les présente. En l'absence d'une telle structuration en niveaux hiérarchiques, intégrés et régulés, il est clair qu'on ne saurait parler d'une organisation descriptible en termes de tout et de parties, de structures et de fonctions. Pour assurer cette articulation, le changement de niveau se révèle indispensable [16a], [16b]. Il s'accompagne, avons-nous vu, à la fois des effets de passage à la limite infinie de grandeurs intensives et des effets de changement d'objet pertinent pour l'analyse théorique et la description empirique. Rappelons que ce changement se manifeste le plus souvent par la présence ou la genèse de géométries fractales qui lui permettent de s'accomplir dans les structures elles-mêmes tout en contribuant à la mise en oeuvre effective des fonctions à remplir (échanges, transports...).

2.3. Des systèmes physico-chimiques aux organisations biologiques ; les concepts d'orgons et de biolons et la dualité temps/énergie en biologie

La question du passage théorique et conceptuel du physico-chimique au biologique est certainement une des plus difficiles qui se pose, non seulement dans le domaine de la biologie - pour autant qu'on ait pu délimiter ce domaine, ce qui fait déjà problème -, mais aussi dans le cadre de l'analyse épistémologique des différentes disciplines relevant des sciences de la nature. Certes, les spectaculaires avancées de la biologie moléculaire ouvrent sur ce point, en ce qui concerne l'aspect historico-évolutif du moins, des perspectives fondamentales et vraisemblablement fondatrices [17], [18, [19], mais il n'en demeure pas moins qu'à d'autres niveaux de l'organisation biologique (cellules, organes, organismes), ce sentiment de familiarité et de compréhension des rapports entre physico-chimique et biologique semblent s'estomper au profit d'une situation de confusion et d'ambiguïté. Ou bien la spécificité du biologique paraît irréductible, auquel cas se pose la question de ses bases matérielles dans l'inanimé et du surgissement du vivant, ou bien le réductionnisme se fait radical mais se révèle le plus souvent incapable d'indiquer le processus d'apparition et de composition du vivant à partir des éléments réduits. En fait, à ces niveaux d'organisation bien plus élevés que le niveau moléculaire, c'est la pertinence même de la question qui devient problématique. Et pourtant il faut, à ces niveaux aussi, analyser, mesurer, expliquer, dans des termes qui ne soient pas radicalement étrangers à ce que l'on entend par analyse, mesure, explication en physique ou en chimie.

C'est dans cet esprit que nous avons proposé récemment [20] de considérer une problématique assez différente, en abordant sous un angle nouveau la question des rapports entre physico-chimique et biologique ; en nous situant moins d'un point de vue "généalogique" (origines biomoléculaires du vivant) que dans une analyse beaucoup plus "synchronique", en nous plaçant à des niveaux d'organisation fort différents les uns des autres mais coexistant et coopérant entre eux.

Pour tenter de remplir le programme que nous nous étions fixé, nous avons été amenés à introduire deux concepts de base qui jouent des rôles organisateurs et explicatifs fondamentaux, les concepts de **biolons** et d'**orgons**. Sans revenir sur les façons précises et détaillées de définir (théoriquement et formellement) la nature des objets biologiques ainsi construits, il est possible d'en proposer une description intuitive :

La représentation sur laquelle nous nous appuyons pour caractériser le vivant est celle d'une hiérarchie de niveaux, organisée en une alternance de deux types de niveaux : d'une part des niveaux où l'on peut distinguer une unité individuée et biologiquement autonome (par exemple la cellule ou l'organisme) - les niveaux *biologiques*, l'unité en question constituant un biolon -, et d'autre part des niveaux intermédiaires entre niveaux biologiques, où l'on distingue des constituants qui ne possèdent pas cette autonomie individuelle, mais qui se maintiennent du fait qu'ils sont composés de biolons du niveau inférieur et surtout, du fait qu'ils sont intégrés dans un niveau biologique supérieur (par exemple des organites dans la cellule, des organes dans l'organisme) ; ce type de niveau est appelé niveau organique et ses éléments sont des orgons. Ainsi, une entité vivante sera-t-elle considérée comme une structure hiérarchisée de tels niveaux en alternance, le niveau supérieur étant nécessairement de nature biologique et le niveau minimal étant constitué par un invariant qui présente des caractères simultanément biologiques et organiques (en l'occurrence, des macromolécules pourvues de sites biologiquement actifs).

Un niveau ne peut être organique que s'il est "encadré" (supérieurement et inférieurement) par des niveaux biologiques dont l'un (l'inférieur) concourt à sa composition et dont l'autre (le supérieur) l'intègre ; tandis qu'un niveau biologique n'a besoin pour exister que de la présence d'un niveau organique inférieur qui contribue à le constituer (la question de la nature du niveau invariant minimum évoqué plus haut reviendra, évidemment, à ce propos).

Si nous prenons comme exemple une société d'insectes, nous aurons alors la structure suivante : le biolon supérieur sera cette société elle-même (ruche, fourmilière) ; au-dessous, et intégré par ce niveau supérieur, on trouvera le niveau organique des groupes spécialisés (ouvrières, guerrières...) ; lui-même sera composé d'un niveau biologique dont les éléments sont les organismes

individus ; l'individu sera un biolon constitué d'orgons représentés par ses organes ; ces orgons seront composés des biolons que sont leurs cellules ; ces dernières intégrant les organites, au niveau organique ; ces organites étant eux-mêmes composés et constitués des macromolécules biologiques évoquées plus haut.

Du point de vue fonctionnel, dans leur participation au fonctionnement biologique global, orgons et biolons semblent plus ou moins spécialisés dans des rôles distincts :

1) Les biolons sont principalement les supports et les convertisseurs de **l'information**. Cette information biolonique est essentiellement intrinsèque. Sa source principale est *interne* (elle est contenue déjà tout entière dans l'oeuf fécondé) et elle dérive d'une source fondamentale définie en un niveau de base par les aspects bioloniques des macromolécules porteuses du programme génétique. L'information biologiquement pertinente d'origine externe (environnement) jouant alors un rôle principalement épigénétique. Les biolons échangent entre eux de l'information, ou en transmettent, selon les niveaux considérés. En principe il n'y a pas d'obstacle interne à la transmission d'information et sa quantité globale est invariante (pour des organismes, c'est une caractéristique de l'espèce). Il y a seulement une évolution dans le temps de la *structure* de cette information ; au fur et à mesure que les biolons jouent leur rôle de transmission et de conversion, les rapports entre "information disponible", "information exprimée" et entropie sont modifiés (l'entropie augmente de façon monotone, l'information disponible décroît de façon monotone, l'information exprimée croît puis décroît).

2) Les orgons, pour leur part, sont les supports et les convertisseurs de la **matière** et de **l'énergie**. Contrairement à l'information dont la source principale est interne, les sources principales de matière et d'énergie sont externes, situées dans l'environnement¹. Matière et énergie sont transformées et transportées par les orgons (en respectant, bien évidemment, les lois de conservation classiques de la physique et de la chimie) ; ces transformations sont régulées par les biolons intégrant correspondants.

Dans un modèle de ce genre, les rapports entre physico-chimique et biologique prennent donc une coloration particulière : ils se manifestent en permanence à tous les niveaux d'organisation tout en se différenciant (aspect plutôt énergétique, aspect plutôt informationnel) selon qu'il s'agit d'un niveau organique ou biolonique. Par ailleurs, mais dans le même esprit, il est important de souligner le fait que dans le cadre d'une telle représentation, les dynamiques modèles prises en considération pour simuler de façon plus ou moins nette des phénomènes biologiques semblent s'appliquer préférentiellement aux niveaux bioloniques, alors que les morphologies fractales, dont nous avons souligné l'importance dans le rapport entre structure et fonction et pour le fonctionnement biologique lui-même, affectent essentiellement les niveaux organiques.

Un autre aspect de cette recatégorisation que nous offre l'introduction des concepts d'orgon et de biolon (et des rôles qui peuvent leur être assignés), concerne les propriétés des modèles mathématiques que l'on peut leur associer du point de vue du développement temporel des ensembles respectifs qu'ils constituent, tout particulièrement dans le processus d'embryogenèse. Les équations cinétiques auxquelles semblent répondre ces ensembles permettent des rapprochements analogiques qui redoublent d'une certaine façon les rapprochements comparatifs que nous avons déjà évoqués avec certains aspects des systèmes quantiques [21]. Mais du point de vue des statistiques quantiques cette fois, c'est-à-dire du comportement collectif des ensembles de quantons. En effet, les expressions des développements temporels des ensembles de biolons sont semblables aux expressions de distributions énergétiques des particules quantiques que sont les bosons, et il en va de même pour l'établissement d'une ressemblance de ces comportements respectifs entre orgons et fermions.

Sans tenter de procéder à quelque démarche de réduction physicaliste que ce soit, nous soulignerons la cohérence de la correspondance qui met en rapport d'une part, des entités (biologiques) relatives au traitement et aux échanges d'*information*, les biolons, avec les particules (quantiques) des

¹ Ce n'est qu'au niveau fondamental que l'on peut considérer qu'il existe une source d'énergie interne primaire, associée aux forces électro-magnétiques des liaisons interatomiques et intermoléculaires des orgons macromoléculaires de base et aux propriétés autocatalytiques et enzymatiques qui peuvent en résulter.

champs d'interactions, et, d'autre part des entités relatives aux variations et aux échanges matériels, les orgons, avec les particules quantiques constitutives de la matière.

Nous soulignerons ensuite le prolongement de la correspondance sur le plan des propriétés de chaque type d'entité : les biolons, à l'instar des bosons, sont "superposables" dans un même état caractéristique. En effet, l'information dont ils sont porteurs reste invariante en ce sens qu'il y a la même quantité d'information intrinsèque, pour l'organisme, du stade de l'œuf fécondé à celui de l'ensemble des cellules (qui, en outre, comportent chacune le même patrimoine génétique, quand bien même il serait exprimé de façon différenciée). La condensation de Bose (à température nulle) correspondra alors au "gel" de cette information dans l'œuf fécondé à temps caractéristique nul. De même, le principe d'exclusion de Pauli pour les fermions trouve sa correspondance dans le fait de l'inéluctabilité du développement temporel pour les orgons. En effet, on peut dire que le nécessaire changement de la référence temporelle lorsque se réalise le programme qui produit les orgons exprime l'impossibilité de "superposer" deux éléments orgoniques en un même instant.

Propriétés qui, sur un mode plus imagé, tendent à fonder à nos yeux la pertinence de l'aphorisme que nous avons proposé, selon lequel *les entités biologiques peuplent leurs instants comme les entités quantiques peuplent leurs niveaux d'énergie*.

Nous pouvons même pousser plus loin la discussion sur ces rapprochements conceptuels. On sait qu'en théorie quantique le temps et l'énergie sont, comme le sont positions et impulsions, des variables conjuguées ; c'est-à-dire qu'elles entretiennent entre elles des rapports très particuliers que manifestent les inégalités de Heisenberg. Notamment la quatrième inégalité, celle qui nous intéresse ici : $dE dt > h'$, où dE et dt représentent ici l'indétermination sur les valeurs de l'énergie et du temps respectivement et h' la constante de Planck réduite. Toutefois, contrairement au cas des autres variables conjuguées, ces deux-là (l'énergie et le temps) ne tiennent pas un rôle symétrique entre elles : en effet, l'énergie est une observable physique (représentable par un certain type d'opérateur) alors que le temps n'est pas une telle observable, mais seulement un paramètre externe. A l'inverse, en biologie, on peut soutenir que c'est le temps qui jouerait le rôle équivalent à celui d'une observable propre, tandis que l'énergie (ou la masse) ne serait qu'un paramètre. C'est ce qui apparaît clairement si nous nous reportons aux caractéristiques propres de la temporalité biologique comme nous avons essayé de la caractériser au paragraphe précédent en l'analysant sous l'angle des contraintes *a priori* qu'elle introduit, en particulier en mettant en évidence l'existence d'un temps propre interne sans dimensionnalité physique.

C'est ce temps interne, d'autonomie, qui intervient principalement dans les processus gouvernés par l'expression du programme génétique, notamment le développement et le fonctionnement de l'organisme. A ce titre, c'est aussi ce temps propre qui apparaît dans les expressions gouvernant les comportements bioloniques et orgoniques. Dès lors, il devient légitime de considérer qu'en effet c'est ce temps biologique intrinsèque qui joue le rôle de l'observable fondamentale dans le développement et le fonctionnement biologiques et que les grandeurs du type masse ou énergie ne jouent qu'un rôle paramétrique, fixant les facteurs d'échelle sans affecter vraiment la nature fondamentale des processus concernés.

Si l'on adopte ce point de vue on est alors tenté de considérer que, relativement à la conjugaison énergie/temps, la biologie se présente en quelque sorte comme une espèce de modèle dual de celui de la physique quantique, au sens où, d'une part, l'observable de l'une devient le paramètre de l'autre (et réciproquement) et où, d'autre part, les équations fondamentales gouvernant les fonctions de distributions sont formellement identiques, moyennant les transformations correspondantes des variables et paramètres.

Ainsi, avec cette distinction entre orgons et biolons, l'analyse de leurs rapports, leur hiérarchisation en niveaux d'organisation, disposons-nous d'un cadre de référence nouveau qui nous permet de procéder à une sorte de reconceptualisation d'une partie du champ de la biologie théorique, reconceptualisation qui peut se révéler particulièrement heuristique pour la construction des objectivités biologiques comme pour leur interprétation.

2.4. Approches méta-théoriques en biologie

En rapport avec l'ensemble de ce paysage conceptuel (objectivités, contraintes, conditions de possibilités, propriétés particulières, etc.) et au niveau des principes qui semblent en régir les contenus, se développent différentes approches théoriques et métathéoriques qui peuvent contribuer aux fondements d'une biologie théorique plus ou moins en voie d'unification (à l'image d'une physique théorique exemple d'une dynamique unificatrice).

Une première approche est celle proposée par la théorie des catastrophes [22a], [22b] grâce à quoi on peut espérer, d'une part, catégoriser des formes sources (et exprimer les règles de leurs transformations) et d'autre part, voir se déployer et se complexifier à partir d'elles, des formes dérivées (*cf.* le réductionnisme morphologique). On dispose ainsi de mathématiques qualitatives qui permettent d'aborder la problématique de la morphologie et de la morphogenèse en restant au niveau **topologique**, presque indépendamment des contraintes métriques qui sont en général associées aux conditions du fonctionnement biologique proprement dit.

Une deuxième approche, parente de la première, mais qui accorde une importance bien plus grande aux contraintes **métriques** et au fonctionnement, fait intervenir de façon plus constitutive la dimension de la production temporelle, c'est-à-dire le processus lui-même en regard de ses résultats. Il s'agit de celle que propose, sous ses différentes versions, la théorie des systèmes dynamiques non linéaires ; une morphodynamique dans le déroulement de laquelle on peut trouver des sources de complexification et d'organisation, des conditions de structurations et de fonctionnements biologiques [23]. Ainsi les phénomènes d'apparition de structures spatiales (ne serait-ce qu'au simple stade d'une métamérisation), d'établissement des rythmes temporels (horloges biologiques), voire de production de géométries particulières (structures fractales) peuvent-ils trouver des éléments essentiels d'explication dans la prise en considération de ces dynamiques, que celles-ci apparaissent sous l'aspect de règles opératoires récursives discrètes, d'équations différentielles non linéaires régissant des processus de réaction-diffusion, ou de flots plus généraux.

Une troisième approche, enfin, plus conceptuelle, moins directement mathématique ou physico-chimique, se situe pour ainsi dire à un niveau **logique**. Elle est représentée par les considérations d'autopoïèse, les analyses des processus d'auto-organisation déjà considérés plus haut [24]. S'appuyant sur les acquis des systèmes dynamiques en ce qui concerne les conditions effectives de production des phénomènes biologiques, cette approche s'interroge sur les sources d'individuation et d'autonomie des organismes, sur la constitution du soi. Elle trouve dans les circularités de l'autoréférence, dans le développement de hiérarchies enchevêtrées, des éléments d'explication à d'apparents paradoxes biologiques, tels ceux du code génétique ou de la production par le soi des éléments nécessaires à la constitution même du soi (le paradoxe paradigmatique de l'oeuf et de la poule). Ces approches, que l'on peut qualifier de systémiciennes, s'appliquent par exemple à l'analyse de la genèse et du fonctionnement du système nerveux ou du système immunitaire.

C'est aussi dans ce cadre que nous rangerions volontiers les recherches visant directement à dégager ce qu'on peut en effet appeler une *logique du vivant* [25], qu'on l'aborde sous l'angle des processus évolutifs (y compris l'élucidation des passages de l'inerte au vivant) ou sous des angles plus synchroniques, à dominantes structurelles ou fonctionnelles, voire conceptuelles, ainsi que nous avons nous-mêmes tenté de le faire au paragraphe précédent.

Ces diverses approches, bien que distinctes, ne se concurrencent pas toujours, d'autant qu'elles ne s'appliquent pas systématiquement et simultanément à tous les domaines abordés par la biologie ; néanmoins elles diffèrent parfois profondément entre elles par les présupposés qu'elles mobilisent, ou les *a priori* de principe qui les sous-tendent.

3. STRUCTURES FORMELLES

Pour finir, revenons plus précisément aux rapports entre physique et biologie, en nous situant d'un point de vue totalement formel et complètement extérieur à leurs contenus théoriques ou

conceptuels respectifs. Essayons en somme de nous placer à un niveau, à partir duquel on chercherait à positionner mutuellement physique et biologie en concevant maintenant chacune de ces disciplines comme un modèle (au sens de la théorie logique des modèles) de science de la nature.

Pour ce faire, supposons que nous disposions d'un cadre général de type axiomatique pour caractériser dans sa généralité la rationalité scientifique et ses (méta)exigences formelles et méthodologiques (même si ces exigences se thématisent différemment selon les disciplines et sous-disciplines). Admettons alors que physique et biologie constituent des modèles de réalisation (au sens de la théorie des modèles) de cette (méta)axiomatique et tentons de spécifier de ce point de vue leurs rapports, en considérant qu'à travers un de leur concept problématique central, celui de **matière**, elles se rencontrent, partiellement au moins, dans un même domaine sémantique.

En quel sens pourrions-nous dire que la physique constitue un modèle standard de cette axiomatique tandis que la biologie en présente un modèle non standard ?

Du point de vue sémantique, on peut considérer la biologie comme un "élargissement" (au sens technique de Robinson [26]) du modèle de la physique, élargissement qui permet de distinguer le concept de **vivant** au sein de la matière (concept et réalité que ne "voit" ni ne sait "nommer" la physique).

Syntaxiquement (cf. l'approche IST de Nelson [27]), on peut considérer que l'introduction d'un nouveau prédicat ("*non vivant*") permet de distinguer formellement les situations purement physiques des situations biologiques.

Ainsi, une comparaison formelle avec la théorie des modèles nous conduira à établir les correspondances suivantes (en prenant l'arithmétique comme théorie de base) :

(i) A l'axiome d'Idéalisation¹, on peut associer l'énoncé selon lequel "*quelle que soit la loi physique considérée on peut trouver des objets biologiques qui y répondent*". On pourra interpréter cet énoncé comme un axiome d'existence d'objets vivants.

(ii) A l'axiome de Standardisation², on associera l'énoncé selon lequel "*il existe toujours un système physique qui contient exactement les mêmes éléments physiques qu'un objet biologique considéré*". Cet axiome (qui dans la théorie fonctionne comme un schéma de remplacement pour les relations non internes) pourra être interprété comme une sorte de postulat de l'existence d'une base physicaliste du biologique.

(iii) Enfin, à l'axiome de Transfert³, on associera l'énoncé selon lequel "*toute loi physique vaut en biologie*" (c'est-à-dire que "*toute propriété vraie en physique conserve sa validité en biologie*"). On peut l'interpréter en soulignant le fait que la légalité biologique ne peut contrevenir à la légalité physique du fait qu'il s'agit dans les deux cas d'une seule et même "matière" qui se trouve engagée (monisme matérialiste de la connaissance scientifique dans les sciences de la nature).

D'un point de vue épistémologique, voire philosophique, une telle approche nous permet de choisir entre les termes d'une alternative :

- ou bien, comme on l'admet souvent, les présupposés axiomatiques (virtuels) qui gouvernent la constitution et le développement de la physique et de la biologie sont fondamentalement différents, et ces disciplines développent des modèles non équivalents de ce point de vue ; on aurait alors affaire à un dualisme sous-jacent, dans lequel le concept de "vie" non seulement joue un rôle discriminant, mais

¹ Cet axiome s'énonce formellement comme suit :

$$\exists x \forall^{st} y B(x, y) \leftrightarrow \forall^{st} \text{fini}_z \exists x \forall y \in z B(x, y)$$

² Formellement on a :

$$\forall^{st} x \exists^{st} y \forall^{st} z [z \exists y \leftrightarrow (z \in x \text{ et } C(z))]$$

³ Formellement :

$$\forall^{st} x A(x) \rightarrow \forall x A(x)$$

en plus correspond à une irréductibilité axiomatique (à la limite on trouvera, théoriquement, le finalisme biologique, voire le vitalisme et, philosophiquement, le bergsonisme) ;

- ou bien, selon la proposition que nous venons de présenter, on considérera une seule et même axiomatique pour les deux disciplines, qui renvoie à une sorte de monisme matérialiste formel, mais qui peut conduire à la réalisation de modèles sémantiquement distincts (physique et biologie se distribuant respectivement entre standard et non standard) ; l'analyse syntaxique rétablit une dualité dans ce monisme, mais l'irréductibilité n'est plus d'axiomatique, elle est renvoyée à la distinction entre ensembles internes et ensembles externes.

REFERENCES DU CHAPITRE VII

- [1] Ch.S. PEIRCE, *Ecrits sur le signe*, Seuil, Paris, 1978.
- [2] J. PIAGET, *Six études de psychologie*, Denoël, Paris, 1964.
- [3] J. ULLMO, *La pensée scientifique moderne*, Flammarion, Paris, 1969.
- [4] J.M. LEVY-LEBLOND, *Théorie quantique: un débat toujours actuel*, La Recherche n°175, p. 394, Mars 1986.
- [5] Y. BOULIGAND, *La morphogenèse : de la biologie aux mathématiques*, Maloine, Paris, 1980.
- [6] C.P. BRUTER, *Les architectures du feu*, Flammarion, Paris, 1982.
- [7] A. HUNDING, S. KAUFFMAN, B. GOODWIN, *Dynamically Nested Fields as Robust Generators of the Development Hierarchy*, Solignac, Ed. Polytechnica, 1989.
- [8] P. DELATTRE, M. THELLIER, *Elaboration et justification des modèles*, Maloine, Paris, 1980.
- [9] G. WEISBUCH, Networks of Automata and Biological Organization, *J. Theo. Bio.*, 121, p.255, 1986.
- [10] B. MANDELBROT, *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman, San Francisco, 1982.
- [11] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, Fonctions biologiques, niveaux d'organisation et structures fractales, *Rev. Int. Syst.*, 2, n°3, p.295, 1988.
- [12] Y. BOULIGAND, L'autosimilitude brisée, in : *Biologie théorique*, Ed. CNRS, Paris, 1989.
- [13] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, A dynamical system for biological development: the case of *Caenorhabditis elegans*, *Acta Bioth.*, Springer Netherland.
- [14] K. SCHMIDT-NIELSEN, *Scaling*, Camb. Univ. Press, 1984.
- [15a] R. H. PETERS, *The Ecological Implications of Body Size*, CUP, 1983.
- [15b] K. SCHMIDT-NIELSEN, *Scaling*, CUP 1984.
- [16a] F. BAILLY, Niveaux/Changements de niveaux, in : *Actes du 1er Congrès européen de systémique*, Lausanne, AFCET, 1989.
- [16b] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, Hiérarchie de niveaux d'organisation biologique, processus de complexification et géométries fractales, *Rev. Int. Syst.* 5 n°1, p.53, 1991.
- [17] A.G. CAIRNS-SMITH, *L'énigme de la vie*, Odile Jacob, Paris, 1990.
- [18] A. DANCHIN, *Une aurore de pierre*, Seuil, Paris, 1990.
- [19] J. NINIO, *La biologie buissonnière*, Seuil, Paris, 1991.
- [20] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, Développement, organisation et fonctionnement biologiques : orgons et biolons, Solignac, *Acta Biotheor.*, Springer Netherland, 1991.
- [21] F. BAILLY, Biolons et orgons : biologie théorique et analogies quantiques, Solignac 1991, *Acta Biotheor.*, Springer Netherland.
- [22a] R. THOM, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, InterEd., Paris, 1977.
- [22b] R. THOM, *Modèles mathématiques de la morphogénèse*, Christian Bourgois, Paris, 1980.
- [23] G. NICOLIS, Dissipative systems, *Rev. Prog. Phys.*, 49, p.873, Ed. du CNRS, Paris, 1986.
- [24] F. VARELA, *Autonomie et connaissance*, Seuil, Paris, 1989.
- [25] F. JACOB, *La logique du vivant*, Gallimard, Paris, 1970.
- [26] A. ROBINSON, *Non Standard Analysis*, North-Holland, 1980.
- [27] E. NELSON, Internal set theory, *Bull. Am. Math. Soc.*, 83, 6, p.1165, 1977.