

## CHAPITRE III

### A PROPOS DES CONCEPTS THEORIQUES ET DE LA CONSTRUCTION DES OBJECTIVITES :

#### NIVEAUX D'ORGANISATION

Avec l'exemple du concept d'ordre du chapitre précédent, nous avons abordé la question des cadres conceptuels de référence et de leurs formalisations possibles. Nous allons maintenant aborder celle de la construction des objectivités, sur le cas des niveaux d'organisation. On sait [1] que ce terme est largement employé sans que pour autant il ait toujours été ni complètement défini, ni associé à une éventuelle objectivité (les niveaux comme tels sont rarement accessibles à la mesure ou à l'expérimentation, même si on a parfois l'impression de pouvoir les repérer dans l'observation). En fait, il semble qu'ils répondent plus à une détermination nominale qu'à une détermination réelle (théorique et objectivable). L'enjeu est donc d'examiner si l'on peut parvenir à une détermination réelle et conférer simultanément une objectivité théorique à ces niveaux d'organisation.

#### 1. INTRODUCTION

Quel rapport peut-il y avoir entre des niveaux associés à des types logiques (langages, métalangages), des niveaux de structures mathématiques (topologique, différentiable, analytique, algébrique, métrique), des niveaux d'énergie ou des niveaux de réalité (nucléons, atomes, molécules) en physique, des niveaux d'organisation en biologie (cellules, organes, organismes, espèces), des niveaux d'organisation sociale (hiérarchies, partage des tâches, rôles) dans les sociétés animales, des niveaux de structuration psychique, des niveaux de signification et d'interprétation des rapports humains et des échanges langagiers ?

En dehors de toute caractérisation purement formelle, c'est-à-dire déagée des contenus et significations associés à chaque secteur de connaissance empirique ou théorique, il n'y a en fait que très peu de rapports ; hormis cette évocation assez vague d'une structure discrète et plus ou moins hiérarchisée, évocation qui fait qu'on utilise spontanément le même terme pour décrire ces réalités *a priori* différentes. Mais l'usage spontané du même terme peut aussi recouvrir l'intuition de l'existence d'une parenté formelle. Celle-ci permettrait alors, si on la dégage et l'explique, de procéder à une catégorisation plus rigoureuse, qui elle-même justifierait et délimiterait cet usage [1], [2a], [2b].

En effet, spontanément, la représentation en termes de niveaux appelle une discrétisation dans le champ épistémique ou phénoménal. Dire "discrétisation", c'est dire *a fortiori* "discontinuité". De fait si des niveaux peuvent être distingués et caractérisés, c'est que l'on peut toujours indiquer, pour une observable au moins, une telle discontinuité. On notera alors que la discontinuité d'une grandeur (en fonction d'une variable pertinente) implique la divergence au point de discontinuité - point critique - de sa dérivée (par rapport à cette variable). On tendra donc à associer d'une façon ou d'une autre, "changement de niveau" à "passage à une limite infinie" (divergence).

C'est le cas par exemple dans les transitions critiques en physique. Toutefois, du fait que les points critiques sont en général isolés ou en nombre fini, on serait plutôt porté à considérer que de telles divergences isolées correspondent à l'expression d'une singularité locale élémentaire (dans l'espace de représentation adéquat, qui ne coïncide pas nécessairement avec l'espace physique habituel). Cette singularité deviendrait certes déterminante par rapport à la régularité ambiante initiale, mais la transition définirait alors moins un "niveau" par rapport à un autre, qu'un "état" de l'objet considéré par rapport à un autre (un système qui devient global par l'effet d'un passage à l'infini d'une longueur de corrélation entre ses éléments en interaction, sans que pour autant ces interactions en soient modifiées, ni qu'on puisse définir de parties s'intégrant fonctionnellement dans l'autonomie d'un tout).

Si l'on désire conserver l'heuristique de la criticité pour aborder la question des niveaux, heuristique qui peut en effet s'avérer féconde (ne serait-ce qu'en introduisant le concept de renormalisation), on devrait associer le niveau d'organisation proprement dit, pour le moins à un ensemble dense (et donc infini) de points critiques, en sorte qu'une certaine régularité - au sens d'une équivalence entre domaines singuliers locaux - serait restituée. L'image et l'outil conceptuel les plus appropriés pourraient alors être trouvés dans une dimensionnalité géométrique fractale [3], associée au changement de niveau d'organisation en liaison avec l'apparition d'un rôle fonctionnel. Cette fractalité peut se manifester de façon spatiale dans la structure même des objets engagés dans le changement de niveau et la fonctionnalité, mais elle peut se révéler aussi à l'analyse des conditions de genèse de ces structures, par exemple comme attracteur étrange dans l'espace de phase où prend place la dynamique qui gouverne cette genèse, ou même qui régit le fonctionnement lui-même (*cf.* [4a], [4c] pour une discussion sur ces points).

Le changement de niveau ainsi spécifié serait alors affecté d'un certain indice de réalité et de détermination d'existence dans la structure de son objet; à l'inverse de ce qui apparaît dans certains cas où, si des discontinuités peuvent être facilement rencontrées et désignées, leur rôle - tout important qu'il puisse être pour les propriétés du système - n'est pas déterminant, au sens où elles n'impliquent nullement, ni même n'indiquent, l'apparition d'une régulation ou d'une intégration fonctionnelles. Par exemple, en physique, les niveaux quantiques d'énergie ne peuvent être considérés comme des niveaux d'organisation en un sens plein, alors que l'on serait beaucoup plus enclin à en trouver une représentation acceptable dans la hiérarchie : particules élémentaires, nucléons, atomes, molécules.

Au-delà, dans le domaine de la biologie, les définitions que nous proposons, et leurs conséquences, nous conduiront à faire passer la caractérisation des niveaux d'organisation d'un domaine référentiel (celui de l'intelligibilité) à un autre (celui de l'objectivité), en exhibant un critère (la fractalité) associé à des moyens de mesure (photométrie sous grandissement variable par exemple) [5], [6]. Il s'agira donc bien, là, de construire une objectivité, de faire apparaître un objet réel (et non plus seulement une catégorie abstraite de description ou de compréhension), à côté d'autres objets réels déjà répertoriés, tels les molécules, cellules, organes... En même temps nous verrons que c'est essentiellement à propos d'un autre concept biologique, celui de **fonction**, que ce nouvel objet (le fractal géométrique ou dynamique, comme indication de niveau d'organisation ou de changement de niveau) s'introduit, conférant du même coup à ce concept de fonction une matérialité nouvelle.

Pour tenir compte de l'ensemble de ces remarques, nous sommes donc conduits à distinguer deux déterminations, plus ou moins larges ou strictes, des notions de niveau et de changement de niveau : celle qui correspond à la description d'une suite d'états disjoints et au passage d'un état à un autre (acception dans laquelle on se référera à la notion de "complexité") et celle, plus stricte, qui prend en compte une réorganisation globale du système et de ses rapports internes, en sorte que devienne pertinente et utile pour la description la notion d'"émergence". C'est ce que nous voulons examiner maintenant.

## 2. NIVEAUX ET COMPLEXITE

Acceptons la représentation en termes de niveaux d'organisation en un sens large, c'est-à-dire en ne faisant pas nécessairement intervenir de déterminations réciproques, régulatrices et intégratrices, et ne répondant donc pas nécessairement à la problématique du tout et des parties. Néanmoins on pourra utiliser efficacement les idées de complexité associée à un niveau donné et de complexification progressive, plus ou moins hiérarchisée, d'un niveau à un autre.

On peut en effet distinguer une complexification "verticale", hiérarchisante, qui fait passer d'un niveau à un autre, et une complexification "horizontale", proliférante, qui opère dans un niveau donné (et y réunit éventuellement des conditions autorisant le passage à l'autre régime de complexification). Les logiques propres de ces effets ne sont pas, au moins dans un premier temps d'analyse et de description, mutuellement réductibles.

Le franchissement d'un niveau opère un peu à la façon d'une valve : on peut repérer la transition du bas vers le haut dans les termes du bas (démarche explicative). De plus, localement, là où s'effectue le passage, on peut aussi interpréter ce qui appartient au niveau supérieur dans des termes appartenant au niveau inférieur (démarche réductrice) ; mais globalement, un niveau, une fois développé par la prolifération de sa dynamique, ne peut être complètement réduit aux termes du niveau inférieur : il acquiert une autonomie, ce qui, d'ailleurs, le constitue en niveau proprement dit.

Dans un niveau donné, au contraire, la prolifération relève de l'aspect combinatoire entre éléments et constellations d'éléments de ce niveau : les composants sont donnés, leurs agencements possibles sont illimités. On peut sans doute représenter une telle complexification par des effets d'ensembles de fonctions récursives conduisant à des ensembles de points fixes, de cycles limites, de comportements plus ou moins turbulents ou chaotiques. Ce faisant, les grandeurs et objets pertinents restent ceux qui ont permis de caractériser le niveau et les fonctions qui y opèrent.

Par contraste, on fera donc l'hypothèse que le passage d'un niveau à un autre ne se représente valablement que dans la double caractérisation suivante :

1) Une grandeur intensive pertinente, au moins, du niveau de départ, doit être considérée comme passant effectivement à la limite infinie (cette grandeur est "pertinente" non pas seulement si elle appartient au niveau mais aussi si elle concourt à caractériser les objets ou leurs rapports, soumis au changement de niveau).

2) L'effet de ce passage effectif à la limite infinie conduit à rendre obsolète la spécification empirique et théorique des objets attachés à cette grandeur, et à introduire dans la caractérisation du système d'autres objets (changement d'objets pertinents) que l'on considérera alors comme appartenant au niveau supérieur, ou qui contribueront à caractériser ce dernier (cf. par exemple la procédure et l'interprétation de la renormalisation en physique).

On voit que la prolifération dans un niveau par effets de fonctions récursives peut préparer ou rendre possible un changement de niveau (pourvu que le seuil à franchir ait été défini), mais qu'il n'en va pas nécessairement ainsi.

Ainsi se trouve introduite une problématique qui peut s'avérer opératoire : confrontés à la question de savoir si, pour un ensemble donné, on est effectivement fondé à distinguer des niveaux d'organisation, on s'interroge sur la (ou les) grandeur d'intensité qui devient infinie et sur l'objet (ou les objets) associé, dont la pertinence est appelée à disparaître à ce niveau pour contribuer à la spécification de nouveaux objets pertinents à un autre niveau. Bien souvent ce deuxième critère n'est pas rempli et une transition critique ne correspond pas nécessairement à un changement de niveau.

Par ailleurs, d'un point de vue gnoséologique et interprétatif, il faut remarquer que la complexification par changement de niveau correspond à un changement concomitant dans le régime de causalité attaché à chacun de ces niveaux. La première condition introduit la rupture : une excitation produit un effet qui lui devient incommensurable (susceptibilité infinie ; la seconde établit le nouveau régime en modifiant la nature précise de ce sur quoi va porter l'interaction. Elle modifie aussi, d'une certaine façon, le sens exact des termes "excitation" et "effet". Pour conserver invariantes les notions régulatrices d'objet et de loi causale, on est ainsi amené à considérer que le passage d'un niveau à un autre s'accompagne non seulement d'un changement de la nature des objets composant le système, mais aussi d'un changement des classes d'interactions à prendre en compte, et finalement du changement de régime de causalité que nous venons d'évoquer. Ce qui va tout à fait dans le sens que souligne J. Proust [7] en rappelant ce

*"principe universellement reconnu dans les sciences : n'est théoriquement pertinente qu'une propriété ayant des implications causales".*

En effet, l'objet qui perd sa pertinence (au profit d'un autre) dans le changement de niveau, la perd précisément parce qu'on ne peut plus lui conférer aucune valeur causale dans le comportement du système par rapport au nouveau niveau où on le considère.

Tandis que si l'on s'en tient à la complexification dans un niveau donné, même si cette dernière peut donner l'impression de modifications profondes des objets sur lesquels elle opère, voire d'apparition d'objets imprévus, néanmoins le régime de causalité qui les régit reste inchangé (ce qui apparaît très clairement dans l'utilisation des fonctions récursives dont la loi ne change pas, bien que la cumulation de ses effets puisse se manifester de façon très variée).

Avant de passer à l'examen des restrictions conceptuelles permettant de caractériser le concept de niveau dans un sens plus fort, il nous semble important de revenir sur un point délicat à propos de la question du passage effectif à une limite infinie dans des disciplines de sciences naturelles où la désignation d'un "infini en acte" reste toujours problématique. Revenons à nos caractérisations précédentes.

La notion de niveau commence à devenir opératoirement pertinente dans un système, à partir du moment où l'on peut exhiber une classe de phénomènes pour laquelle le rapport entre l'effet et la cause est excessivement grand, relativement aux grandeurs moyennes du système considéré. C'est le cas des niveaux liés aux interactions en physique, qu'une transition critique met en évidence (susceptibilité très grande, divergence des longueurs de corrélation...). Dans le cas des niveaux d'organisation fonctionnelle de la biologie (que nous réexaminerons plus bas de façon plus détaillée), la condition supplémentaire de changement d'objet pertinent prend une importance plus cruciale encore, en ce que la cause localisée a un effet global pour le tout intégrateur, à travers la fonction, si bien que le changement d'échelle entre objets s'accompagne en quelque sorte d'un changement d'échelle entre rapports (passage de rapports interactifs à des rapports fonctionnels).

Ces considérations confortent le point de vue selon lequel il est légitime de parler d'un infini en acte, y compris dans les disciplines des sciences de la nature. On peut dire que dans la phénoménalité, la perte de pertinence d'une échelle donnée (spatiale, temporelle...) au profit d'une autre, beaucoup plus grande ou plus petite, adéquate à la description du phénomène considéré, équivalant (en un sens fort) à un passage effectif à la limite "calculablement" infinie, dans un sens semblable à celui qu'introduit en mathématiques l'analyse non standard qui permet de distinguer entre les notions de "formellement infini" et de "calculablement infini" [8]. L'essentiel, conceptuellement parlant, se situe alors moins dans le changement d'échelle lui-même (qui reste évidemment nécessaire) que dans la question de la perte absolue et radicale de *pertinence* d'une échelle donnée.

Reprenons l'argumentation sous un autre angle, plus empirique peut-être. Pour les objets pourvus d'une structure plus paramètre contribuant à définir l'état de l'objet ne modifie rigoureusement en rien cet état. Des limites sont posées, en effet, tout à la fois par les conditions intrinsèques de mesure, d'une part et par les composantes naturelles de bruit, d'autre part. On peut soutenir que si une accumulation indéfinie de variations d'un paramètre se produit à une échelle telle qu'il n'en résulte, compte tenu de ces contraintes, aucune modification théorico-expérimentale de l'objet, alors un infini en acte est réalisé calculablement, relativement aux valeurs de ce paramètre. Ce qui revient de fait à donner toute son importance opératoire au principe selon lequel n'est théoriquement pertinente, en science, qu'une propriété ayant des implications causales. Il faut répondre en effet à une nécessité de cohérence de la représentation : ce qui est conçu comme naturel doit l'être en tous ses aspects, y compris dans ses indéterminations intrinsèques et ses inévitables fluctuations. L'idéalisation ne vaut que dans un domaine de pertinence qu'il convient précisément de délimiter.

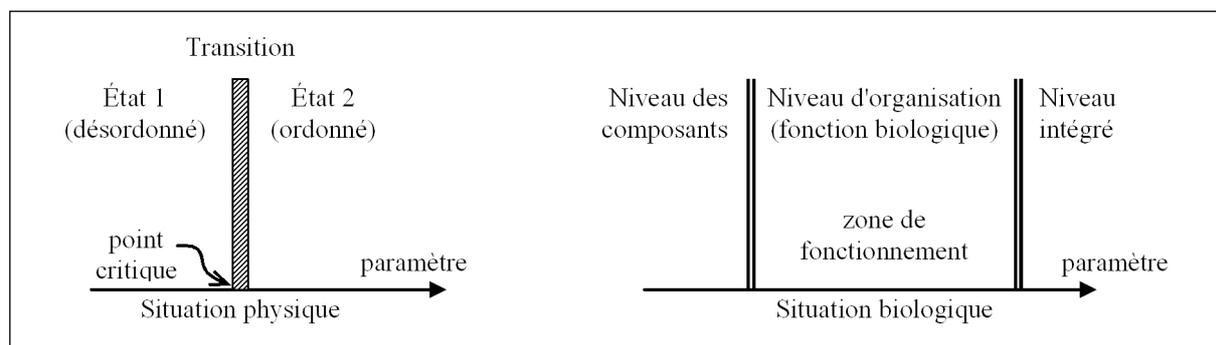
Mais l'analyse peut porter plus loin encore; au-delà même des propriétés, elle peut toucher au statut ontologique de l'objet : en dessous d'une échelle donnée de division, non seulement on ne peut plus prendre en compte d'événements qui modifient les propriétés de l'objet à l'échelle de la mesure de ces propriétés, mais aussi on ne peut plus diviser réellement l'objet lui-même. Celui-ci se dissout en tant qu'objet précédemment défini dans son cadre physique ou biologique (en dessous de l'échelle moléculaire il n'y a réellement plus de côte de la Bretagne, en dessous de l'échelle cellulaire il n'y a réellement plus d'organe physiologique). C'est là une radicalisation du changement de niveau. Lorsque la pertinence de ce qui se passe au-delà du seuil de coupure disparaît comme telle, quelles que soient les accumulations d'événements qui s'y entassent, une discontinuité devient une vraie discontinuité

(que l'on prendra comme réelle et pas seulement idéale) et une singularité est une vraie singularité, légitimement assimilables, chacune, à leurs caractéristiques mathématiques idéales.

### 3. NIVEAUX ET EMERGENCE

On peut convenir de caractériser un passage de niveau d'organisation à un autre en un sens plus fort que celui associé à la satisfaction des deux critères que nous venons d'énoncer. Par exemple, si la transition considérée met en jeu des passages à la limite infinie en une infinité dénombrable au moins de points de l'espace pris en compte (et notamment si on peut délimiter dans cet espace un ensemble dense de singularités). On aurait alors affaire à un ensemble de catastrophes généralisées et à une transition qui serait critique presque partout ; on serait conduit à considérer que l'état de fonctionnement d'un tel système est installé dans la criticité, au lieu qu'auparavant la situation critique singulière était conçue comme transitoire entre deux états "réguliers"<sup>1</sup>. Une telle approche permettrait de donner un sens précis et opératoire au terme d'**émergence** ainsi qu'aux termes d'organisation, d'intégration, de régulation, tels qu'on peut les concevoir en biologie.

En effet, si l'on veut comparer les constituants fonctionnels de la biologie (organes par rapport à organisme, par exemple, ou organites par rapport à cellule) et les niveaux d'organisation qui leur sont associés, à des équivalents physiques en rapport avec les situations critiques et les transitions qu'elles accompagnent, on est amené à considérer que le fonctionnement de la structure biologique est comparable à un régime de criticité permanent (associé notamment à des structures fractales, géométriques ou dynamiques). Ainsi, alors qu'en physique le passage est généralement transitoire, visant uniquement la transition d'un état (fût-il celui d'un processus) dans un autre<sup>2</sup>, au contraire, en biologie tout se passe comme si le régime de fonctionnement permanent et référentiel était le régime critique lui-même. Pour illustrer cette comparaison nous pouvons envisager le schéma suivant :



Cette représentation permet de concevoir l'apparition d'un temps propre à la zone critique (un âge) distinct de la temporalité-paramètre de la physique usuelle (se rapprochant donc un peu de la temporalité plus ou moins intrinsèque générée par des systèmes chaotiques). Elle permet aussi de caractériser assez différemment les situations biologiques. En effet, à côté et en plus de la perspective habituelle (selon laquelle le biologique est descriptible en termes de suite de bifurcations s'écartant de plus en plus d'un ensemble d'états plus ou moins proche de l'équilibre pour aller vers une complexification loin de l'équilibre), considérons à l'inverse la situation biologique comme ensemble d'états minimalement stables [10], [11], atteints à partir d'états de grand déséquilibre (potentiellement chaotiques). Pour rendre la démarche plus intuitive, développons une analogie.

<sup>1</sup> Un tel élargissement trouve un répondant technique en physique dans la prise en compte de termes d'ordres supérieurs du développement du potentiel [9]. Quand le paramètre d'ordre a une valeur proche de sa valeur critique, on doit alors prendre en compte le couplage entre différents modes spatiaux de fluctuations ; on s'écarte des conditions d'application du théorème de la limite centrale et il devient dès lors impossible de considérer que le système puisse être partitionné en une collection de sous-systèmes faiblement corrélés.

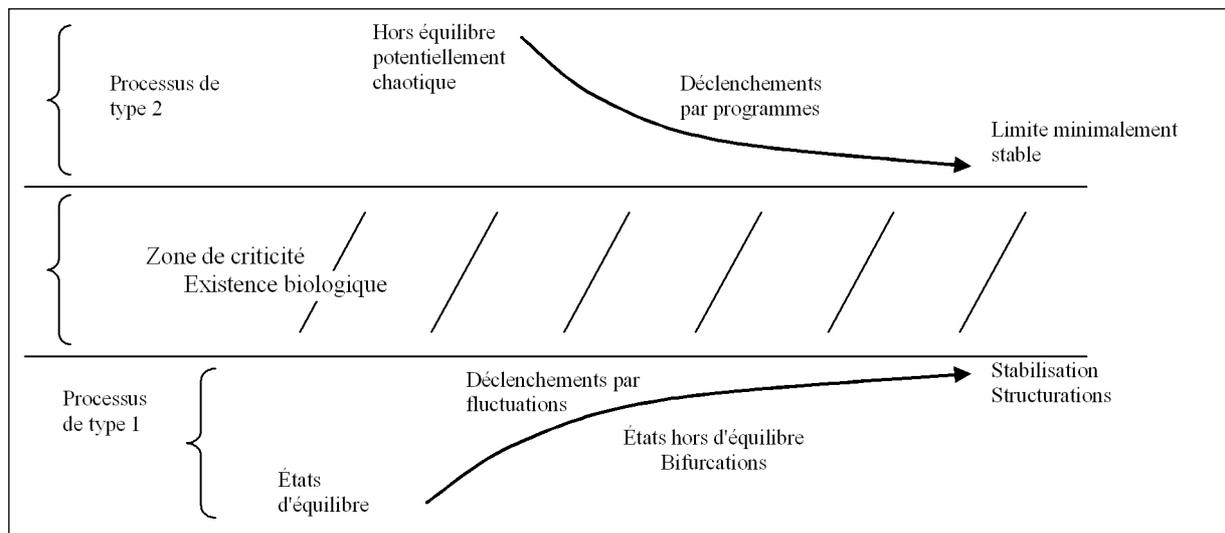
<sup>2</sup> En laissant ici de côté, évidemment, tout ce qui peut avoir trait à des situations structurées résultant de bifurcations et directement liées à des propriétés de non-linéarité, telles les structures dissipatives par exemple que l'on rattacherait simplement à l'analyse de la complexité.

Au départ, nous pouvons imaginer un état métastable, très loin de l'équilibre et de potentiel très élevé par rapport à une variable-germe donnée (alors qu'il pourra être considéré comme structurellement stable relativement à un ensemble d'autres variables) ; par exemple un ovule mûr. Sous l'effet du déclenchement dû au germe (la fécondation, en l'occurrence), s'établit une évolution rapide, mais réglée (la prolifération d'une embryogenèse), aboutissant à une suite d'états minimalement stables relativement aux contraintes externes, mais surtout relativement aux contraintes internes (par exemple celles imposées par un programme génétique). Cette suite d'états conduit d'une part à des productions de morphologies (morphogénèse) et d'autre part à l'établissement de rapports fonctionnels qui sont associés à ces morphologies (fonctions et fonctionnements), le tout contribuant à caractériser l'organisme vivant.

Nous sommes ainsi confrontés à une double description d'un processus qui aboutirait à l'apparition d'une entité biologique :

- Celle mentionnée au début, qui à partir d'écart à l'équilibre et sous l'effet d'un déclenchement par fluctuation dans une zone de criticité, conduit une séquence de bifurcations hors équilibre visant à se stabiliser ; cette description correspond au mieux à une réductibilité physico-chimique des phénomènes biologiques.
- Celle que nous venons d'évoquer et qui, à partir d'une situation très loin d'un équilibre et sous l'effet d'un déclenchement piloté par programme, conduit à une configuration minimalement stable. Cette description, à travers le programme (ou encore à travers la figure de stabilisation d'un chaos) renvoie beaucoup plus à une représentation en termes finalistes.

C'est entre ces deux descriptions dont les points de départ constituent des limites opposées, que se situe la zone critique étendue que nous avons considérée et que nous présentons comme le siège des processus biologiques (schéma suivant).



Les avantages de la prise en compte de cette double description sont importants :

- Comme on l'a déjà vu, ils précisent le rôle et l'effet des niveaux d'organisation dans les processus de régulation et d'intégration.
- En même temps ils conduisent à ne plus représenter le biologique comme "simple" seuil de transition critique, mais à l'installer dans une large zone de criticité offrant place à une grande variabilité interne.
- Enfin ils lèvent l'apparente incompatibilité des explications en termes de causalité déterministe et en termes de finalité, ce qui semble essentiel à la cohérence et à la complétude de la compréhension du biologique.

#### 4. NIVEAUX D'ORGANISATION ET FONCTIONS BIOLOGIQUES

A plusieurs reprises nous avons rencontré, à propos de la caractérisation des niveaux d'organisation en biologie, la notion de fonction biologique, de fonctionnalité ou de fonctionnement. Simultanément nous avons été conduits à évoquer l'existence de géométries particulières (fractales) reliées aux extensions spatiales ou aux propriétés dynamiques des structures hiérarchiques ou fonctionnelles associées. Comment et pourquoi des géométries fractales concrètes (interfaces compliquées, ramifications arborescentes, déployées dans l'espace ordinaire) ou plus abstraites (attracteurs étranges dans des espaces de phase), peuvent-elles constituer à la fois des indices et des moyens de changement de niveaux d'organisation biologique, comme c'est le cas par exemple des passages de la cellule à l'organe, de l'organe à l'organisme[4a], [12a] ou encore de la genèse de structures biologiques par multiplication cellulaire et différenciation fonctionnelle entre lignées cellulaires[4c], [11b] ?

**4.1.** Les structures biologiques présentant des caractères de fractalité sont le plus souvent associées à des fonctions vitales d'intégration et de régulation (par exemple des fonctions physiologiques dans les rapports entre niveau de l'organe et niveau de l'organisme). Citons les sites biologiquement actifs à la surface de macromolécules ; les membranes et organites cellulaires (mitochondries, reticulum endoplasmique) ; les organes physiologiques (membrane alvéolaire du poumon, cortex cérébral, villosités intestinales, systèmes nerveux, bronchique, vasculaire, etc.). En général ces structures se présentent soit comme des interfaces de dimension topologique égale à 2 et de dimension métrique comprise entre 2 et 3, soit comme des réseaux arborescents de vaisseaux et conduits, dont l'aire de section a une dimension différente de 2. Dans tous les cas on aboutit à des propriétés métriques infinies distribuées de façon plus ou moins homogène sur des ensembles qui demeurent bornés dans l'espace.

Ces particularités s'expliquent bien si l'on considère que les structures concernées sont engagées dans la réalisation de processus d'échanges interfaciaux ou de transports pour l'efficacité et le contrôle desquels le rôle des frontières et des rapports entre contenant et contenu peuvent être déterminants. En effet l'optimisation de ces processus en même temps que l'affinement de leur contrôle nécessitent l'extension maximale des zones d'échange et une ramification très poussée des systèmes arborescents censés pouvoir irriguer ou explorer tout un volume. Néanmoins ces nécessités de prolifération doivent se concilier d'une part avec la limitation de l'encombrement stérique (faute de quoi la taille de l'organisme le rendrait non viable) et d'autre part avec l'homogénéité propre à l'organe considéré. Seule une structure présentant des propriétés fractales permet de rendre compatible ces tendances *a priori* contradictoires. Tous ces éléments d'analyse nous conduisent à formuler un ensemble d'hypothèses selon lesquelles :

(i) les fonctions biologiques vitales sont assurées par des structures pourvues de géométries fractales (au moins chez les espèces dont la taille moyenne dépasse un certain seuil qui rend les phénomènes de transport concurrentiels avec les phénomènes d'échange ; voir la discussion pour le système respiratoire des insectes [12c] ;

(ii) réciproquement, la présence de caractères fractals dans une structure biologique est l'indice de l'existence d'une fonction vitale remplie par cette structure ;

(iii) ces structures constituent l'indice et le moyen du changement de niveau d'organisation : intégration des parties concernées dans une totalité de niveau supérieur, régulation entre niveaux.

Ainsi, pour résumer, la hiérarchisation et la transition entre niveaux biologiques d'organisation et de fonctionnement nous paraissent-elles indissociables des propriétés fractales des parties composantes engagées dans la caractérisation de ces niveaux, et des processus de leur intégration.

On peut citer quelques exemples particulièrement illustratifs : en relation avec la fonction de respiration, on aura la membrane alvéolaire du poumon des mammifères ainsi que les arborescences bronchiques, ou, en rapport avec la digestion, les villosités intestinales, ou encore les systèmes

arborescents artériels et veineux qui assurent la circulation, sans oublier le système nerveux, le cortex cérébral, etc.

**4.2.** Si nous considérons maintenant non plus seulement l'état final et fonctionnel des organes, mais leur genèse et leur mise en place par mitoses cellulaires et différenciations entre lignées cellulaires, c'est la question de la dynamique sous-jacente qui se pose. Elle est censée gouverner à la fois la genèse de ces organes en tant que structures et leur mise en place, de sorte que le fonctionnement biologique devienne possible et que s'articulent ainsi structures et fonctions. Là encore les propriétés de fractalité jouent un rôle important, mais dans l'espace des attracteurs du processus cette fois.

En effet, le développement de ces structures au cours de l'embryogenèse peut parfois être représenté par un modèle dynamique simple, pour autant qu'on ne caractérise l'embryogenèse elle-même que comme le résultat (structurel) de divisions cellulaires et le produit (fonctionnel) de la différenciation ou de la détermination entre lignées cellulaires. Bien entendu il ne s'agit là que d'une grossière approximation de la nature et de la réalisation du programme génétique encodé au niveau biomoléculaire, approximation qui laisse de côté la distribution topologique des cellules, leur migration au cours de l'embryogenèse, les productions protéiniques dont elles sont le siège, etc. Si nous acceptons néanmoins de nous limiter à un tel cadre étroit, les questions principales sont, d'une part, de parvenir à articuler la prolifération cellulaire (qui donne naissance aux structures biologiques) avec la différenciation entre lignées cellulaires (associée à la restriction des potentialités propres à chaque lignée différenciée à partir de l'oeuf fécondé totipotent, c'est-à-dire doté de toutes les potentialités de développement ultérieur) et, d'autre part, de réunir les conditions qui autorisent l'existence d'un fonctionnement réel, alliant l'aspect discret associé aux réalités structurelles et l'aspect plus continu, au moins à l'échelle du changement de niveau, que l'on peut associer à l'activité fonctionnelle. Pour y parvenir nous avons proposé [4b], [11b] un modèle de dynamique non-linéaire que nous avons appliqué au cas de l'embryogenèse de *Caenorhabditis elegans* (un ver nématode dont les biologistes ont pu détailler complètement le développement embryonnaire [13]). Nous ne reviendrons pas sur ce travail mais nous voulons souligner un point essentiel qui concerne la zone de transition entre le domaine associé à la division cellulaire et celui associé aux processus de différenciation. Cette zone correspond, du point de vue de la modélisation, à l'articulation entre structure et fonction, c'est-à-dire à l'établissement du fonctionnement proprement dit, et elle se trouve caractérisée par l'existence, dans la dynamique, d'un attracteur étrange de dimension fractale.

Remarquons en outre qu'elle représente (dans le modèle, mais aussi dans la réalité) la transition entre le caractère discret des propriétés structurelles (populations cellulaires en cours de doublements réitérés) et le caractère continu, au moins à cette échelle, des fonctions associées aux spécialisations successives des lignées cellulaires (séparations entre sous-segments continus explorés chaotiquement). On peut d'ailleurs s'attendre, d'une façon plus générale, à voir intervenir de telles structures fractales partout où se pose de façon déterminante la question de la compatibilité des propriétés lors d'une transition entre discret et continu.

**4.3.** Dans tout ce qui précède, nous avons abordé le problème des fonctions biologiques sous un angle plus technique et modélisateur qu'épistémologique, dans la mesure où nous le présentons en rapport direct avec celui de la construction de l'objectivité des niveaux d'organisation biologique. Avant de revenir aux niveaux d'organisation proprement dits, il nous paraît utile d'approfondir quelque peu l'analyse à propos des fonctions pour justifier conceptuellement notre démarche précédente. Notamment dans la distinction que nous avons faite entre fonctions physiologiques vitales (liées directement aux niveaux d'intégration et de régulation) et fonctions de relation (qui interviennent dans les rapports entre le tout constitué et son environnement).

Remarquons tout d'abord que dans l'organisme, les organes fonctionnels vitaux sont principalement orientés dans leur activité vers la constitution et le maintien de ce tout - l'organisme - auquel ils participent. Leur présence est nécessaire à sa survie et ils se définissent essentiellement dans et pour une internalité intégratrice, alors que par contraste les organes des sens, par exemple, ou ceux de la motricité, sont bien plus caractérisés par leur rôle dans les rapports entre le tout déjà constitué et

son environnement : ils sont médiats entre l'intérieur et l'extérieur, tournés vers ce dernier pour y situer l'activité globale du premier. Ils sont donc, pour leur part, bien plus exécutifs que constitutifs.

Il s'ensuit assez naturellement que les organes fonctionnels vitaux présentent deux traits qui semblent déterminants : leurs opérations sont locales (c'est-à-dire qu'ils sont efficaces dans la position concrète effective qu'ils occupent, même s'ils sont étendus, tels le système nerveux ou le système vasculaire) et elles sont essentiellement permanentes dans leur automaticité. Ces deux aspects (localité et automaticité permanente) s'appellent mutuellement pour nourrir la représentation d'une nécessité finalisée (un mécanisme orienté, en quelque sorte) dont dépendrait l'existence même et la survie de l'organisme comme tout intégrateur.

Au contraire, les organes qui remplissent moins une fonction vitale qu'ils n'exécutent une activité relationnelle présentent des aspects opératoires momentanés principalement référés à une globalité (une centralité qui, au moins pour partie, les contrôle et les commande). Par rapport à la fonction de relation, le tout (l'organisme) se révèle essentiellement comme actif en ce que l'action se trouve commandée par le niveau d'intégration globale qui lui correspond et qu'elle est tournée vers le traitement du rapport entre intérieur et extérieur (ou encore entre "soi" et "non-soi"). Bien entendu, ces organes n'échappent pas non plus à des modes spontanés de fonctionnement (réflexes, par exemple) mais ils ne s'y réduisent pas et demeurent fortement sous la dépendance de l'environnement.

S'il paraît clair qu'aux niveaux des organismes et organes ces distinctions sont aisées à mettre en évidence et à justifier, nous devons nous interroger sur leur pertinence pour d'autres niveaux d'intégration biologique, tel celui des cellules par exemple. En introduisant le critère de contrôle central (notamment *via* le système nerveux supérieur) pour les organes de relation, nous nous interdisons dans un premier temps de trouver leurs équivalents dans les entités biologiques dépourvues de tels systèmes de contrôle central. Et en effet, il semble assez difficile de doter par la pensée les cellules d'organes de sens par exemple, et à plus forte raison de les détecter. Pourtant, à un degré d'organisation bien plus faible que celui d'un organe, nous savons qu'il existe par exemple un chimiotactisme ou une photosensibilité (ou tout autre tropisme) qu'il ne semble pas absurde d'assimiler à une sorte de sens embryonnaire, déterminé dans ses effets par la nature du rapport entre l'environnement et l'entité biologique prise comme un tout (c'est-à-dire entre extérieur non biologique et intérieur biologique). D'un point de vue élémentaire, ce genre de sensibilité ou de tropisme induit et gouverne, par exemple, la motricité des unités cellulaires et en cela soutient la comparaison avec des organes présents à un autre niveau d'organisation. On peut alors rechercher ce qui peut jouer ici le rôle substitutif à la détermination globale par contrôle non automatique. C'est, semble-t-il, principalement dans l'organisation du traitement relatif à la temporalité que l'on peut trouver ces traits distinctifs.

A cet égard le fonctionnement internalisé et permanent, se caractérise habituellement par une temporalité propre que traduit une périodicité assez stricte, robuste et faiblement dépendante des contraintes externes. Au contraire la sensibilité à l'environnement se traduit par une adaptation plus ou moins instantanée, apériodique, déterminée par les changements intervenant dans le milieu extérieur et répondant (ou d'autres exemples de sens embryonnaires). Ainsi la transposition au niveau cellulaire des considérations développées au niveau de l'organisme nous conduit-elle à faire jouer (au moins partiellement) à la temporalité qui intervient dans l'ajustement du rapport interne/externe le rôle occupé par le contrôle central à l'échelle globale. Ce "sens du temps" se présente alors comme une prédisposition pour le développement d'un système nerveux puis d'un contrôle cérébral.

On peut situer dans une cette perspective la temporalité particulière associée à une fonction vitale (à l'image de l'apparition d'une spatialité particulière à travers la géométrie fractale). Par-delà les propriétés déjà mentionnées de périodicité robuste (liée à des horloges internes), et d'indépendance vis-à-vis du temps physique externe, on notera surtout la perte de pertinence de la dimensionnalité spécifique de la variable "temps" (expression en termes de secondes, de jours...) au profit de l'introduction d'une nouvelle pertinence, celle de nombres purs. Ainsi constate-t-on que par exemple le nombre total des respirations ou des battements de coeur d'une vie complète de mammifère est approximativement le même quelle que soit l'espèce considérée [14] ; les fréquences deviennent

secondaires, elles se subordonnent aux durées de vie totale (elles-mêmes corrélées aux tailles) et sont soumises aux lois d'échelle correspondantes [15], [16].

Pour terminer sur le thème de la fonction biologique en rapport avec les niveaux d'organisation, nous pouvons essayer de changer d'échelle et nous interroger (mais sans entrer dans une analyse détaillée) sur l'extensivité du concept de fonction que nous avons développé. Trouverait-on le même genre d'illustration à l'échelle des sociétés animales lorsque l'on évoque les "fonctions" qui assurent leur maintenance et leur unité sociale ?

Si l'on tient à conserver la légitimité de la comparaison formelle et de la correspondance conceptuelle, il faut reconnaître la fonction plus dans les activités intégratrices et régulatrices qui assurent la coordination des activités opératoires spécialisées des membres de ces sociétés que dans ces activités spécialisées elles-mêmes. Celles-ci en effet se situent dans un niveau d'organisation (celui de la collectivisation proprement dite) alors que la fonction "vitale" telle que nous l'avons analysée intervient entre deux niveaux en vue d'assurer intégration et régulation indispensables à la totalité considérée. Sous cet angle c'est donc surtout le système de communication entre membres de la collectivité qui doit jouer un rôle essentiel du point de vue fonctionnel.

## 5. DISCUSSIONS

Après ces analyses qui nous ont entraîné assez loin de notre propos initial, revenons à la question des niveaux d'organisation en général et reprenons certains exemples cités au début pour évaluer la portée et la valeur opératoire des caractérisations que nous avons proposées.

**5.1.** Les niveaux d'énergie présentés par un système quantique correspondent bien à un ensemble de discontinuités dans la distribution de l'énergie et à l'existence de transitions énergétiques brusques des particules qui passent d'un état d'énergie à un autre. En cela ils répondent à la caractérisation usuelle des niveaux, mais les transitions en question ne s'accompagnent d'aucun changement d'objet pertinent pour la description (quants, énergies) et donc non plus d'aucune réorganisation conceptuelle du champ phénoménal ou explicatif. On ne considérera par conséquent pas ces niveaux comme des niveaux d'organisation au sens que nous avons délimité.

D'un point de vue quelque peu complémentaire, on peut s'interroger sur les niveaux que l'on discerne lors de grands changements d'échelles d'observation des phénomènes, passant d'une description en termes de constituants microscopiques en interaction, à une description en termes de propriétés macroscopiques (*cf.* l'importance du rôle de la physique statistique dans le passage d'un ensemble d'atomes et molécules aux solides ou aux propriétés thermodynamiques des gaz). Il y a bien, dans ce cas, un changement d'objet pertinent (on passe des atomes en interaction, à tout un volume gazeux dont on étudie les propriétés à une échelle bien plus grande) mais il n'y a pas, cette fois, à proprement parler, de discontinuité décelable des propriétés d'aucun des constituants, sous-systèmes ou systèmes pris en compte. Le changement d'échelle intègre certes, *via* le traitement statistique, des propriétés élémentaires locales, mais les résultats apparaissent en termes de moyenne globale sur les valeurs locales sous-jacentes et non en termes de discontinuité d'une valeur à une autre (comme dans les situations critiques). Une illustration typique de cette situation est le passage à la limite thermodynamique en état non critique d'un système de  $N$  constituants occupant un volume  $V$  : on fait tendre à la fois  $N$  et  $V$  vers l'infini mais en conservant constant le rapport  $N/V$ , c'est-à-dire la densité du système ; seules les grandeurs extensives deviennent infinies et les grandeurs intensives sont peu modifiées (toujours en état non critique). On a donc ici, avec un simple changement d'échelle, un exemple de nature différente relativement à des niveaux en un sens intuitif mais qu'on ne considérera pas comme tels en un sens fort. En effet, répétons-le, il y a bien changement d'objet pertinent, mais pas de discontinuité ou passage à la limite infinie d'une grandeur d'intensité du système (alors qu'avec les niveaux quantiques c'était l'inverse : on avait bien discontinuité mais pas de changement d'objet).

En ira-t-il de même, pour changer complètement de domaine, des niveaux de langue que l'on distingue en logique formelle et en théorie des modèles (théorie des types, rapports entre langages et métalangages) ? Ces changements de niveaux s'accompagnent pour leur part de ce que l'on peut

appeler, sans abus excessif de langage, un changement d'objet pertinent (par exemple dans une logique du second ordre, on peut quantifier sur les variables de prédicats ou les sous-ensembles d'un ensemble, alors que dans une logique du premier ordre on ne peut quantifier que sur les éléments de l'ensemble ; ainsi on constate que les ontologies de base sont transformées dans le passage de l'une à l'autre). D'autre part, si aucune discontinuité de propriété n'affecte à proprement parler les éléments concernés quand ils passent d'un niveau à l'autre (des éléments de nature différente s'ajoutent ou se retranchent sans que l'on puisse indiquer une discontinuité des propriétés du système ou l'existence d'un passage à la limite infinie), en revanche la transition n'est pas totalement exempte d'une problématique relativement au fini et à l'infini et ce dans une version qui associe en quelque sorte l'intensif et l'extensif. Considérons par exemple l'axiomatique de Peano pour l'arithmétique. Le passage du premier au second ordre entraîne, d'une part, que le schéma d'axiome d'induction (qui au premier ordre équivaut à une infinité d'axiomes) se transforme en un axiome unique au second ordre et, d'autre part que la cardinalité de l'ensemble de base sur lequel porte la quantification est modifiée : de dénombrable au premier ordre cet ensemble acquiert la puissance du continu au second (du fait que l'on peut quantifier sur tous les sous-ensembles de l'ensemble initial). Ces caractéristiques peuvent nous faire conclure à un changement de niveau formel effectif.

Mais pour les niveaux d'organisation en un sens strict, associés à l'émergence, c'est bien évidemment la biologie, qui en fournit les exemples les plus nets. Rappelons que les passages à la limite infinie s'y concrétisent spatialement dans les structures fractales des interfaces d'échange, des surfaces de fonctionnement, des ramifications arborescentes. Les passages du niveau de la cellule à celui de l'organe, de celui des organes à celui de l'organisme, représentent une intégration fonctionnelle où le changement d'objet pertinent (des parties à leur intégration dans un tout) apparaît clairement. Relativement à la genèse et au fonctionnement biologiques, c'est dans l'espace des phases des dynamiques sous-jacentes qu'apparaissent les singularités, en particulier en termes d'attracteurs étranges et de régimes plus ou moins chaotiques. Les niveaux d'organisation (structure) correspondent alors aux niveaux de fonctionnement (fonction), l'articulation des uns et des autres autorisant la conjonction des processus intégrateurs (vers la totalisation) et régulateurs (vers le contrôle diversifié du tout sur ses parties).

Se trouvent ainsi couplées trois instances déterminantes du réel biologique : ce qui relève de la genèse et du développement, ce qui relève des structures et des formes, ce qui relève des fonctions et du fonctionnement (associées respectivement : aux dynamiques sous-jacentes, aux propriétés de leurs attracteurs, à la nature globale de leurs trajectoires de phase selon les valeurs des paramètres). On conçoit que l'on puisse alors donner un sens plus précis au terme d'émergence, comme à la caractérisation des niveaux et des changements de niveaux qui l'accompagnent.

**5.2.** Nous nous sommes intéressé principalement, en vue d'une définition aussi stricte et technique que possible des niveaux d'organisation, aux disciplines des sciences exactes et naturelles (physique, biologie), pour lesquelles la discussion critique et les possibilités de réfutation rendaient l'arbitraire plus difficile. Mais il va de soi que si nous nous sommes situé à un degré d'abstraction suffisant pour demeurer formels, nous devons pouvoir disposer de catégorisations à portée et extension plus larges. Nous voudrions illustrer brièvement une telle extension dans les domaines de l'argumentation philosophique et de la psychologie cognitive pour revenir, à l'inverse, dans la conclusion, à des restrictions du concept de niveau selon la nature des contenus et des ontologies régionales auxquels on cherche à l'appliquer ou desquels on cherche à l'extraire.

Mais auparavant une précaution s'impose : nous devons souligner le fait que dans cette comparaison et cette discussion sur la question des niveaux nous nous sommes jusqu'à maintenant limités - et nous continuerons à nous limiter - principalement à une approche analytique et statique portant sur des aspects structurels et formels. Nous laissons presque toujours de côté (hormis quelques exceptions) les questions relatives à la nature des dynamiques effectives de passage d'un niveau à un autre et à celle des déterminations mutuelles de ces niveaux entre eux par rapport au fonctionnement dans lequel ils sont engagés. En particulier le problème des hiérarchies dynamiques et des enchevêtrements hiérarchiques éventuels des niveaux, quand ils opèrent dans un système plus ou moins auto-organisé, n'a pas été et ne sera pas abordé ici.

Or on sait que cette question est essentielle à un double titre : d'une part relativement à la genèse et au fonctionnement des systèmes auto-poïétiques [17], notamment nombre de systèmes biologiques, et d'autre part, justement, dans tout le secteur où l'analyse extensionnelle se révèle notoirement insuffisante pour l'élaboration d'une intelligibilité acceptable et même pour rendre compte de la phénoménalité observée et étudiée, c'est-à-dire dans tout le secteur des sciences humaines et sociales et celui de la philosophie. Dans ces domaines, en effet, la caractérisation intensionnelle, en compréhension, devient déterminante dans la mesure même - nous y insisterons - où c'est la question des significations qui se trouve engagée de façon centrale et, elle aussi, déterminante. Du coup, interprétation et circulation entre niveaux y jouent un rôle peut-être plus important encore du point de vue opératoire (en production) que la caractérisation même (en reconnaissance) de ces niveaux comme tels.

Aussi, ne prenant pas ici en compte ces dimensions, ne pouvons nous qu'attirer dès maintenant l'attention sur le caractère partiel et limité des comparaisons présentées, relativement à ces disciplines. Moyennant ces restrictions de principe il reste possible de procéder à quelques analyses formelles dont l'intérêt pour la compréhension demeure important.

Prenons l'exemple des théories relatives à l'*a priori* transcendantal de la communauté communicationnelle [18], [19] et examinons très brièvement la structure de la démarche (telle que nous avons pu la percevoir) pour essayer de la restituer dans nos termes et selon notre perspective : la régression argumentative à l'infini se "somme" (presque au sens de la somme d'une série convergente) dans l'acte de réflexion transcendantale sur les conditions de possibilité de l'argumentation elle-même. Ce faisant, avec cette sommation, se trouve réellement accompli un changement de niveau (théorique ou cognitif) dans la pensée, car l'on peut, à l'image des sciences objectives, déceler à la fois le passage à la limite infinie (avec la régression et la sommation) et le changement de l'objet pertinent (la renormalisation). En effet, dans ce cas, le changement de l'objet pertinent peut être assimilé au passage de la série des arguments et de leurs enchaînements (sur le terrain de l'enjeu à propos duquel il y a lieu d'argumenter) à leur positionnement comme faits ou comme objets relativement aux conditions de leur possibilité d'existence même (en tant que participant d'une argumentation en général et en cela déterminés par l'existence *a priori* de la communauté communicationnelle) : le niveau de départ est coextensif à la teneur des arguments, le niveau d'arrivée correspond à ce fait que des arguments soient possibles et reconnus comme tels de par l'acte d'argumentation lui-même.

De même dans le domaine très différent de la psychologie cognitive, la mise en évidence de différents stades de développement fait écho, à certains égards, à la problématique des changements de niveaux. Ainsi Piaget et Garcia [20] écrivent-ils :

*"Le développement des connaissances ne s'effectue pas grâce à l'accumulation continue de nouvelles connaissances (avec le rejet concomitant des concepts et des hypothèses qui se sont avérés infructueux ou faux) ; au contraire, il s'effectue par étapes qui représentent des niveaux cognitifs caractéristiques, tels que dans chaque étape il y a une ré-organisation des connaissances préalablement acquises."*

Apparaissent bien ici les deux traits caractéristiques que nous avons mis en évidence : avec le passage d'une étape à une autre, s'introduit la discontinuité et avec la réorganisation des connaissances se révèle l'équivalent dans ce domaine du changement de l'objet pertinent. Il est même possible d'aller plus loin dans l'analyse :

Les lois de changement de niveau cognitif dans l'histoire des sciences comme dans la psychogenèse [20] se traduisent par la succession des étapes dites "intra-", "inter-" et "trans-" (pour caractériser la nature des rapports relativement aux objets considérés ; dans l'exemple de la géométrie, rapports intrafiguraux d'abord, puis interfiguraux et transfiguraux enfin, exemple généralisé ensuite à divers domaines de connaissances, telle la mécanique du mouvement, l'algèbre, etc.).

Chacune de ces spécifications prises isolément ne constitue pas à proprement parler un niveau au sens où nous l'avons considéré, mais leur association dans la séquence qui permet la construction

des connaissances se révèle constitutive de la procédure par laquelle s'effectue le changement de niveau cognitif lui-même.

En effet, on peut remarquer que dans le passage de l'intra- à l'inter- on repère ce que nous avons désigné comme la première condition du changement de niveau en général, à savoir la discontinuité ; ce passage s'effectue en l'occurrence par la transition entre une pertinence dominante des relations internes, à une pertinence dominante des relations externes et un début de la réorganisation concomitante du champ des connaissances.

De même, on décèlera dans le passage de l'inter- au trans- la deuxième condition du changement de niveau en général, le changement d'objet pertinent. Il correspond ici au passage du stade des rapports d'objets (si abstraits soient-ils) à celui des rapports entre transformations portant sur ces rapports d'objets (le nouvel objet d'étude et de compréhension est alors constitué, désormais, par la structure de ces transformations elles-mêmes en lieu et place de la structure des objets et de leurs rapports) et à l'achèvement, de ce fait, de la réorganisation du champ de connaissance initial.

## 6. CONCLUSION

S'il est possible de reconnaître formellement à l'oeuvre dans divers secteurs disciplinaires la catégorie du niveau d'organisation (et du changement de niveau), si, au delà, il est possible d'en construire l'objectivité, il n'en demeure pas moins que les caractérisations théoriques et pratiques ne peuvent se révéler opératoires et fécondes en dehors du cadre disciplinaire de référence auquel elles se rapportent. Dès qu'on le spécifie, on ne peut éviter de "qualifier" le terme dans la mesure où il peut désormais revêtir des caractéristiques techniques différentes en rapport avec la nature des opérations ou processus propres au domaine en question<sup>1</sup>.

Dès lors, si la *fonction* qui figure parmi les principes constitutifs de la biologie permet de définir des niveaux d'organisation dans les termes explicités précédemment, le paradoxe apparent de ne pas trouver de tels niveaux en physique s'évanouit, puisque ces derniers doivent alors être conçus en rapport avec les *interactions* et systèmes d'interactions constitutifs de la physique : les niveaux interactifs de la physique ne répondent pas aux critères des niveaux fonctionnels de la biologie (même s'ils peuvent être subsumés sous une même catégorisation abstraite). S'il faut ainsi distinguer le concept et l'objet corrélatif selon le domaine de référence pour les sciences de la nature, *a fortiori* en ira-t-il de même quand il s'agit de niveaux concernant le secteur des phénomènes humains, secteur que tend à constituer le terme de *signification* (élaboration, établissement, échange, circulation de significations), au moins sur le terrain cognitif envisagé ici.

On aura de ce fait distingué entre des niveaux interactifs, des niveaux fonctionnels, des niveaux de signification qui ne se réduisent pas les uns aux autres et se trouvent associés à leurs secteurs respectifs de pertinence.

## REFERENCES DU CHAPITRE III

- [1] H. ATLAN, *A tort et à raison*, Seuil, Paris, 1987.
- [2a] F. BAILLY, Niveaux/Changements de niveaux, Actes du *1er congrès européen de systémique*, Lausanne, AFCET-Dunod, Paris, 1989.
- [2b] F. BAILLY, Niveaux d'organisation, changement de niveaux, finalité, *Philosophica*, 46, Ghent Univ., 1991.
- [3] B. MANDELROT, *The fractal geometry of nature*, W.H. Freeman, San Francisco, 1982.
- [4a] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, Fonctions biologiques, niveaux d'organisation et dimensions fractales, *Rev. Int. Systémique*, 2, n°3, p.295, AFCET-Dunod, Paris, 1988.

---

<sup>1</sup> Cela n'a rien de surprenant ; il en va de même par exemple en physique, quoique de façon beaucoup plus fine, avec le terme d'"énergie" que l'on qualifie en énergie thermique, ou électrique ou gravitationnelle, etc. selon les phénomènes considérés.

- [4b] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, *A dynamical system for biological development: the case of Caenorhabditis elegans*, Acta Biotheoretica, Springer Netherland, 1991.
- [4c] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, *Fractals, organization levels and structure/function coupling in biology*, Ecole de Biologie Théorique, Solignac, Ed. Polytechnica, 1990.
- [5] J. SERRA, in : *Image analysis and mathematical morphology*, Acad. Press, Londres, 1982.
- [6] E.R. WEIBEL, in : *Stereological methods*, Acad. Press, 1979.
- [7] J. PROUST, *De la difficulté d'être naturaliste en matière d'intentionnalité*, Rev. de Synth., n°1-2, p.13, Alain Michel, Paris, 1990.
- [8] J-M. SALANSKIS, *L'analyse non standard et la tradition de l'infini*, Rev. Hist. Sc., XLI, n°2, Ed. du CNRS, Paris, 1988.
- [9] G. NICOLIS, *Dissipative Systems*, Rev. Prog. Phys., 49, p.873, Ed. du CNRS, Paris, 1986.
- [10] C. TANG, K. WIESENFELD, P. BAK, S. COPPERSMITH, P. LITTLEWOOD, *Phase d'organisation*, Phys. Rev. Lett., 58, p.1161, 1987
- [11] P. BAK, C. TANG, K. WIESENFELD, *Self Organized Criticality*, Phys. Rev. Lett. 59, p. 381, 1987.
- [12a] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, *Biologie Théorique*, Solignac 1987, Ed. CNRS, Paris, 1989.
- [12b] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, *Rev. Int. Syst.*, AFCET-Dunod, Paris.
- [12c] F. BAILLY, F. GAILL, R. MOSSERI, Acta Biotheoretica, Springer Netherland, 1990.
- [13] G. von EHRENSTEIN, E. SCHIERENBERG, in : *Nematodes and Biological Models*, vol. 1, Acad. Press, Londres, 1980.
- [14] S.J. GOULD, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, Pygmalion, Flammarion, 1979.
- [15] R.H. PETERS, *The Ecological Implications of Body Size*, C.U.P., Cambridge, 1983.
- [16] K. SCHMIDT-NIELSEN, *Scaling*, C.U.P., Cambridge, 1984.
- [17] F. VARELA, *Autonomie et connaissance*, Seuil, Paris, 1989.
- [18] K.O. APEL, *L'éthique à l'âge de la science*, P.Univ.Lille, 1987.
- [19] J.HABERMAS, *Morale et communication*, Le Cerf, Paris, 1986.
- [20] J. PIAGET, R. GARCIA, *Psychogenèse et histoire des sciences*, Flammarion, Paris, 1983.