

# L'interprétation des morphologies spatio-temporelles : réductionnisme ou platonisme?

Autor(en): **Thom, René**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **57 (1984)**

Heft 2

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-115507>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## L'interprétation des morphologies spatio-temporelles: Réductionnisme ou platonisme?

par René Thom, I.H.E.S., F-91440, Bures sur Yvette, France

Toute forme extérieure, élément d'une morphologie observable, apparaît dans un espace, que nous appellerons l'espace *substrat* et que nous dénoterons par la lettre  $U$ . En pratique, pour les morphologies naturelles, l'espace  $U$  est l'espace-temps usuel  $\mathbb{R}^4$ , espace euclidien à quatre dimensions. Tout espace substrat est, comme l'espace euclidien, doué d'une géométrie qui permet d'y définir la congruence métrique, et la similitude.

Un objet extérieur se détache par contraste sur son fond, l'espace substrat  $U$ ; c'est donc ce qu'on appelle en Topologie Générale un *fermé* de cet espace; une forme ( $F$ ) est alors une classe d'équivalence entre fermés qui représentent cette forme: si  $f_1, f_2$  sont deux représentants de cette forme ( $F$ ), il est alors possible de passer de  $f_1$  à  $f_2$  par une transformation (au moins localement définie) sur l'espace  $U$ . Si cette transformation appartient au groupe de la géométrie, la forme ( $F$ ) est dite géométrique (exemples: un triangle, un cube . . .). Pour les formes naturelles – en particulier les formes biologiques – la transformation est plus souple; c'est un homéomorphisme qui conserve quelques régularités métriques, à l'instar des exemples connus des diagrammes de poissons dus à d'Arcy Thompson. Mais une définition rigoureuse de ces transformations reste évasive, bien que toute une branche de la Biologie, la Biométrie, se soit donné pour tâche d'en préciser la nature.

D'un point de vue gestaltiste, une forme se sépare de son fond par un contour net: on dira qu'on a affaire à une forme "saillante", et on appellera "saillance" le caractère correspondant: un flash de lumière, un tintement de sonnette sont des formes saillantes sur leur substrat, le continuum unidimensionnel du temps.

Une morphologie, ensemble de formes saillantes, doit faire d'abord l'objet d'une description. On répertorie les réalisations possibles d'un certain type de phénomènes en variant autant que faire se peut les conditions initiales. On archive les résultats par photographie ou tout autre mode de reproduction. On passe ensuite au stade de la taxonomie: on s'efforce de classer les formes observées en un certain nombre (fini) de types. Puis intervient la tâche structurale: on relève les agrégations de ces formes élémentaires qui apparaissent nécessairement ou fréquemment. Dans le meilleur des cas, on peut engendrer toutes les morphologies observées par des procédés génératifs explicites, définis à

partir de configurations primitives ("axiomes"). Tel st le cas des systèmes formels de l'algèbre, morphologies de dimension un de caractères d'imprimerie . . .

Mais en général les formes naturelles ne se prêtent pas à un engendrement global, exhaustif. On peut alors chercher à définir leurs associations locales en associant aux frontières des formes des conflits de régimes locaux se partageant l'espace substrat  $U$ . (Tel est le formalisme de la théorie des catastrophes). Il conduit à idéaliser les formes en les remplaçant par des ensembles mathématiquement constructibles, comme les ensembles algébriques ou semi-algébriques. Il est aussi important de repérer les symétries que peuvent présenter les morphologies: par exemple les cristaux sont issus d'une symétrie périodique. On a alors affaire à une structure ordonnée. Les parois séparant différentes régions ordonnées, les défauts qu'elles peuvent présenter peuvent aussi faire l'objet d'un catalogue précis, qu'on peut parfois prévoir "a priori" par des considérations théoriques de caractère "platonicien". Il est à noter que des règles combinatoires d'expression simple peuvent parfois engendrer des morphologies apparemment fort compliquées (Cf les "générateurs stochastiques" de nos ordinateurs). De ce point de vue, il est toujours imprudent de décréter comme relevant du chaos une structure ne présentant aucun ordre apparent . . .

Cette approche structurale, syntaxique, du classement des formes répond ainsi à la nécessité de l'explication scientifique: elle réduit l'arbitraire de la description. Mais ce qui frappe dans l'approche structurale, c'est l'abandon du rôle du temps et de la causalité. Noter que le modèle structural peut s'appliquer à des morphologies variables, étendues dans l'espace-temps. Mais alors on "spatialise" le temps comme une quatrième dimension de l'espace, en rien privilégiée. De ce point de vue, on pourrait dire que l'assertion de Hume, selon laquelle le sentiment de nécessité attribué à la succession Cause-Effet est un pur effet de la répétition observée de cette succession, c'est du structuralisme avant la lettre!

L'approche structurale, dans l'explication des morphologies naturelles, est le plus souvent incomplète. Il est rare qu'elle aille au-delà d'une simple taxonomie de formes élémentaires, éventuellement complétée par une syntaxe des configurations les plus probables (ou des configurations interdites). Le grand vice du structuralisme est son caractère discret, qui ne lui permet pas de prendre en compte les variations continues des formes, en particulier leurs mouvements. Si une explication globale de la morphologie (par une construction explicite à partir d'axiomes et de conditions initiales) échoue, ne peut-on au moins tenter des explications *locales*! Comme nous le verrons plus loin, la nature quasi catégorielle de notre perception des phénomènes nous suggère en fait, nous impose – des types d'explication locale, en particulier par l'introduction de la causalité.

Si expliquer, c'est réduire l'arbitraire de la description, toute explication repose sur la possibilité de prolonger une morphologie donnée sur un domaine  $D$  du substrat à un domaine plus grand  $D_1$  contenant  $D$ . La prédiction en est un cas particulier, puisque prédire, c'est prolonger une connaissance du passé en une connaissance de l'avenir . . . Par suite, toute théorisation, si elle n'est pas une pure et simple combinatoire de formes solides, fait nécessairement appel à des algorithmes d'extrapolation prenant en compte la *nature continue* du substrat.

Or, de ces procédés, il n'en existe guère en Science que deux:

1) La générativité géométrique: c'est celle qui prolonge en une droite infinie un segment fini, qui complète instantanément en un groupe de Lie une algèbre de Lie donnée.

2) Le prolongement analytique. On suppose l'espace substrat  $U$  pourvu d'une structure analytique (globale); alors tout germe de fonction holomorphe en un point s'étend par prolongement analytique sur tout le domaine d'holomorphie de la fonction. La théorie des catastrophes (élémentaires) a introduit une nouvelle forme – qualitative – de prolongement analytique, à savoir la déformation universelle d'un germe d'ensemble analytique en un point singulier isolé. Il s'agit là d'une extension intrinsèque – indépendante du substrat – mais seulement locale.

Le point important est que les entités qui vont ainsi se propager pour déterminer la morphologie visible pourront elles-mêmes être invisibles. Car toute théorisation repose sur l'emploi d'entités imaginaires dont on spécifie l'action sur les formes saillantes visibles. Je postule que l'introduction de telles entités "imaginaires", à caractère propagatif, ont dans notre perception une origine biologique: revenant au point de vue gestaltiste que nous avons au début, on va définir une nouvelle propriété des formes, la *prégnance*.

Une forme saillante, en général, ne suscite que peu de réactions de la part d'un sujet qui la perçoit. Même si elle sature un appareil sensoriel (un flash peut éblouir), une forme saillante ne laisse guère d'autre trace que son inscription dans la mémoire immédiate. Il en va tout autrement des formes qui suscitent une interprétation biologique: telles sont les formes des proies, des prédateurs, des partenaires sexuels... Le métabolisme du sujet percevant est alors profondément affecté par des décharges hormonales persistantes, et un comportement moteur durable s'installe, d'attraction ou de fuite à l'égard de la forme perçue. De telles formes seront dites *prégnantes* et la qualité correspondante s'appellera "*prégnance*".

L'expérience classique du chien de Pavlov peut alors ainsi s'interpréter: une forme douée de la *prégnance* alimentaire, la viande, quand elle est présentée à un sujet affamé en même temps qu'une forme saillante, le tintement de sonnette, et si cette association est répétée un assez grand nombre de fois, va communiquer à la forme saillante cette même *prégnance* alimentaire (Le Chien salive au seul tintement de sonnette.) On dira que la *prégnance* s'est communiquée, par contiguïté, d'une forme saillante source (la viande) à une forme saillante induite (le tintement de sonnette), laquelle forme peut servir de source inductrice dans une autre association. La *prégnance* se comporte donc comme un fluide érosif qui pénètre toute la réalité par ces fissures que constituent les formes saillantes. Et cette propagation s'effectue selon les deux modes fondamentaux: action par contact action par similitude, les deux modes principaux d'action magique répertoire par sir J. Frazer dans *Le Rameau d'or*.

A chaque instant, le psychisme du sujet est ainsi structuré par ces réseaux d'associations que constituent les *prégnances*; ce sont de gigantesques gradients entre formes, culminant dans les formes sources, et s'étendant par ramification successive sur des formes secondairement induites. Cette structure en arbres est d'ailleurs labile et réversible, la *prégnance* associée à une forme induite disparaît après quelque temps si l'association n'est pas "*renforcée*". Cette description vaut pour l'animal (supérieur), chez qui il n'y a qu'un très petit nombre de *prégnances* à grand pouvoir propagatif. Chez l'Homme, la présence du langage a profondément modifié cet état de choses: la *prégnance* biologique initiale, attachée, au corps de la mère, se trouve, lors de l'apprentissage du langage, ramifiée, éparpillée sur de multiples objets; ces *prégnances* secondaires sont alors stabilisées par association avec le mot correspondant dans le processus de la

*deixis*. D'ailleurs, en langage adulte, la *deixis*, monstration d'un objet par l'index, peut ainsi s'interpréter: par le geste ostensif, le locuteur confère à l'objet montré une *prégnance* transitoire, issue de sa *prégnance* propre en tant que locuteur, et cette *prégnance* de l'objet va investir l'auditeur. Il y a ainsi chez l'Homme un très grand nombre de *prégnances* – une par concept – mais la propagation de ces concepts est strictement contrôlée, canalisée (*Grosso modo*: la *prégnance* – compréhension du concept *Y* – se propage au concept *X* si le génitif *X* de *Y* fait sens).

Ce mécanisme – purement subjectif – de propagation des *prégnances* biologiques a, chez les animaux vivant en groupe, un répondant objectif: ainsi la peur – *prégnance* d'effroi – peut être propagée d'individu à individu par l'émission d'un cri d'alarme, ou un comportement typique. Une *prégnance* peut ainsi investir un forme individuée, en y produisant des changements d'état ou de forme, qu'on appellera “effets figuratifs” de la *prégnance*. Cet investissement “objectif” des formes saillantes par les *prégnances* est devenu chez l'Homme un instrument essentiel d'interprétation des phénomènes extérieurs. Ainsi: une entité physique comme la lumière sera considérée comme une “*prégnance*”; elle est émise par des formes – sources (les sources lumineuses) et elle constitue en sources secondaires les objets opaques sur lesquels elle diffuse. Ainsi la chaleur, comme une *prégnance*, se communique par contact d'un corps chaud à un corps froid. Il existe, en Science moderne, un concept qui réalise la *prégnance*: c'est celui de *champ* (comme le champ électro-magnétique...). Ainsi la Dynamique newtonienne reçoit en termes de saillance-*prégnance* une interprétation exemplaire: les formes saillantes sont les points matériels, les *prégnances* sont les forces (*F*). La formule  $F = m \cdot \gamma$  décrit l'effet figuratif réalisé par l'investissement de la *prégnance* *F* sur le point matériel; et la formule du champ de la gravitation universelle  $F = k \cdot mm'/r^2$  décrit la loi de propagation que suit la *prégnance* force attractive émise par un point matériel comme forme source. Rien ne peut être dit, “a priori”, sur le mode de propagation des *prégnances*, qui peuvent parcourir l'espace substrat de manière en principe arbitraire. Considérons un exemple typique: un corps solide mobile est porteur d'un moment cinétique  $\sum m \vec{v}$ ; il est légitime de considérer ce moment cinétique comme une *prégnance*: biologique d'abord, car si ce moment cinétique est dirigé vers le corps de l'observateur, le psychisme du sujet va anticiper la trajectoire du corps de manière à éviter le choc; c'est aussi une *prégnance* physique, car dans une collision entre un corps mobile et un corps fixe, le corps mobile va transférer une partie de son moment cinétique au corps (initialement) fixe. Il existe donc un enchevêtrement très complexe entre *prégnances* objectives et subjectives: la “couleur”, par exemple, est un habillage subjectif de la *prégnance* physique lumière. Dans le diagramme joint, on a présenté dans un plan *Oxy* les grands types de *prégnances* affectant notre vision du monde. L'axe *Ox* sous-tend l'opposition Objectif-Subjectif, l'axe *Oy* décrit le caractère de plus en plus contrôlé de la propagation.

Il y a entre saillance et *prégnance* une différence essentielle: les formes saillantes, en quelque sorte par définition, satisfont à la condition d'impénétrabilité (deux formes saillantes distinctes sont spatialement disjointes). Au contraire les *prégnances*, entités invisibles, peuvent se propager en un point donné *O* sans fusionner ni interférer, à la manière de deux ébranlements linéaires qui s'additionnent localement, puis se séparent. Il n'y a en principe aucune borne supérieure au nombre des ébranlements locaux de *prégnance* qui peuvent transi-

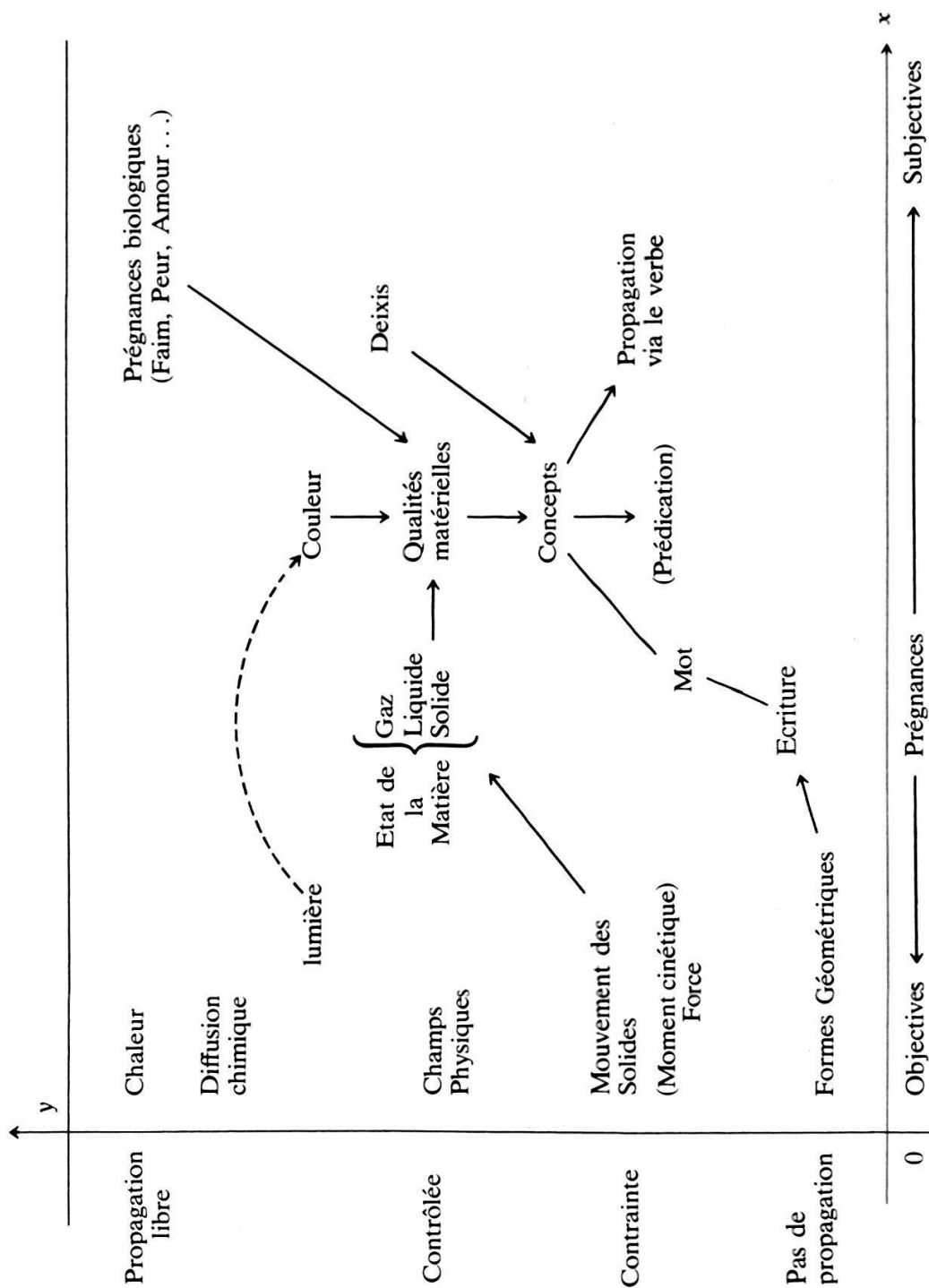


Figure 1

ter par un point. D'où le caractère quasi-magique de cette notion de prégnance, dont la Science moderne croit pouvoir s'affranchir par la notion de "champ physique". Mais à quel prix! On peut bien en Science Moderne renoncer à l'action à distance en imposant l'"axiome de localité"; mais la Mécanique Quantique, en identifiant onde et particule, identifie saillance et prégnance; ce faisant, elle donne l'exemple d'une théorie, qui, en dépit de succès ininterrompus depuis sa création en 1925, demeure aussi inintelligible qu'elle l'était à sa naissance. De plus les champs y sont définis, non localement, mais globalement: d'où une non-localité irrémédiable (Paradoxe EPR). Seul demeure, comme élément de déterminisme, la loi de propagation des champs – qui souvent les caractérise.

Il y a cependant d'autres prégnances qui se rapprochent de la saillance: telle est la diffusion chimique d'une substance diluée dans un milieu. Lorsque les substances considérées sont engagées dans une cinétique chimique commune, il peut y avoir des effets non linéaires dans la rencontre de deux ébranlements (ceci se passe, apparemment, dans les morphologies associées à la réaction de Zhabotinsky). Un autre cas important, est celui des organisations de la matière, les "phases". Dans le plan ( $p$ ;  $T$ ) des variables intensives de la thermodynamique, les phases sont exclusives l'une de l'autre, d'où les morphologies observées sur les diagrammes de phase, où l'on rencontre les singularités de type "Maxwell"

(comme le point triple ) . On trouve aussi ces mêmes singularités dans de nombreuses morphologies spatiales, en Géomorphologie notamment. On sait, depuis la découverte de Janner des cristaux irrationnels, que divers modes d'organisation de la matière peuvent transiter par le même point sans interagir ni influencer l'un sur l'autre. Il serait du plus haut intérêt de savoir combien de ces organisations peuvent coexister indépendamment au même point. (On ne peut pas espérer, en ce cas, qu'il y en ait un nombre infini...).

Cette conceptualisation par "saillance-prégnance" pourra sembler archaïque aux tenants de la scientificité moderne. Et cependant, tout permet de penser qu'elle reste à l'oeuvre dans notre vision de monde. Qui pourrait prétendre qu'on peut se passer de la causalité dans notre interprétation des phénomènes? Or, en termes de probabilité, la causalité peut s'inférer par l'argument "bayésien" bien connu: soient  $A$ ,  $B$  deux phénomènes,  $B$  postérieur à  $A$ . Si la probabilité d'apparition de  $B$  lorsque  $A$  s'est produit,  $p(B/A)$  est strictement supérieure à la probabilité de  $B$  seul:  $p(B/A) > p(B)$ , on sera fondé à dire que  $A$  est une cause "prima facie" de  $B$ . Mais on ne pourra prouver effectivement ce lien causal que si l'on a pu mettre entre  $A$  et  $B$  un chemin d'influences causales, assurée par la propagation d'"agents messagers" issues de  $A$  et favorisant l'apparition de  $B$ . Une telle conviction est implicite dans la vision de la Biologie Moléculaire actuelle, où toute influence causale doit pouvoir s'expliquer par un transfert de molécules "médiatrices" ou "messagères". De ce point de vue la Biologie Moderne n'accepte la "prégnance" que si on peut la visualiser en un flux molécules (à la rigueur une impulsion d'un champ physique). On observera, de ce point de vue, que si, en Physique, l'énergie est la forme la moins différenciée de prégnance, elle satisfait à un principe de conservation, qu'on peut peut-être, en dernière analyse, justifier par une "quantification" de l'énergie en grumeaux saillants discrets, les quanta précisément.

Mais l'importance de cette décomposition saillance-prégnance vient du fait qu'elle sous-tend toute la décomposition du monde perçu que présuppose la

description par le langage. Dans la phrase prédicative simple: “Le ciel est bleu”, on décrit l’investissement objectif d’une forme saillante (le ciel) par une prénance subjective, la couleur bleue. Dans une phrase transitive de type SVO, sujet-verbe-objet, le sujet (en général), émet une prénance qui va investir l’objet, et y provoquer un effet figuratif, un changement d’état interne, qui présente pour le sujet un aspect avantageux; c’est grâce, aux noeuds verbaux que la prénance d’un concept se propage, et affecte les concepts “satellites” (sémantiquement voisins). Linguistiquement d’ailleurs, la distinction saillance-prénance peut dans certains contextes facilement s’effacer: soient les deux phrases:

Jean frappe Pierre avec un bâton

Jean frappe Pierre avec énergie

Ce sont deux phrases presque isomorphes syntaxiquement. La première contient un instrumental, un actant instrument (un bâton); la deuxième remplace l’instrument par une modalité adverbiale; mais qui ne voit que le bâton de la première phrase est porteur d’une prénance (énergie cinétique) qu’ exprime précisément la modalité de la seconde phrase? Dans mon livre (*Stabilité structurelle et Morphogenèse*), j’ai proposé une théorie de l’origine des structures syntaxiques des phrases élémentaires; je vois chaque phrase élémentaire comme le constat d’un conflit entre prénances, conflit régi par un schéma catastrophique élémentaire de codimension quatre. Pour certains verbes prototypiques: capturer, casser, donner . . . , l’évolution du conflit est décrite comme morphologie spatio-temporelle: les prénances en conflit sont individuées en actants (des boules topologiques), et l’ensemble des contacts, des émissions et des captures d’actants est décrit par un graphe qui caractérise le type syntaxique (actantiel) du verbe considéré. Je peux tirer de tout cet exposé une conclusion à l’intention des philosophes; nous pouvons ici interpréter toutes les formes de causalité selon Aristote:

*Cause formelle*: il s’agit ici de la taxonomie des formes (approche structurale).

*Cause efficiente*: il s’agit du transfert d’une prénance d’une forme source à une forme induite.

*Causalité matérielle*: il s’agit de la présence même de la forme saillante induite.

Il nous manque la cause finale: et ceci est une bonne transition vers la Biologie: les êtres vivants ont un espace interne hérité d’un long passé; ils en tirent des contraintes topologico-dynamiques, qui, dans un environnement approprié – leur permettent de réguler leur forme (homéostasie), et de traverser des processus fortement canalisés de réplication, et de différenciation cellulaires, opérations qui pratiquement les caractérisent en tant qu’êtres vivants. Ces espaces internes sont virtuellement présents en tout point de l’organisme, mais l’état local n’en exprime qu’une faible partie (une “section” d’un fibré, dirait-on en Mathématique): c’est la théorie de “l’information positionnelle” (Exemple: Un embryon dont les cellules ont été dissociées se reforme (approximativement)). Il ne fait aucun doute que c’est cette structure abstraite – quasi platonicienne – qui contrôle le devenir des êtres vivants; en particulier, cette structure se déploie dans l’oeuf commençant à germer, dès que l’activité métabolique se réveille dans des conditions sensiblement normales. Une telle conception platonicienne de la structure vitale peut – partiellement – rendre compte du caractère vitaliste des

processus vitaux; car ces structures sont a-temporelles, et visent tout autant l'avenir que le passé. Interprétées causalement on pourra les représenter comme émettant des prégnances, ce qui en fait, métaphoriquement, des entités douées de "volonté". Mais je ne peux développer davantage ici ces conceptions quelque peu hétérodoxes . . . .

*Conclusion:* Réductionnisme ou Platonisme? L'approche réductionniste en morphologie est trop connue pour qu'on la décrive longuement. Partant d'éléments, atomes ou molécules dont les interactions (les potentiels qui régissent les forces d'attraction ou de répulsion) sont connues, déterminer les configurations stables possibles. Il s'agit là d'un procédé théoriquement parfait, mais dont l'efficacité laisse à désirer dès que le nombre des éléments devient grand. Il n'est même pas mathématiquement évident que si les éléments sont reliés par un potentiel à deux corps ayant une partie attractive—un puits—autour d'une distance  $c$ , alors on va obtenir un réseau cristallin de maille  $c$ ; inversement on ne sait toujours pas si pour un gaz de sphères dures à collision élastique, la dynamique est ergodique et mélangeante; enfin pour une molécule même relativement simple (ex.  $H_2O$ ), la théorie est incapable de prévoir toutes les phases présentées par un fluide formé de ces molécules, leurs transitions, les transformations allotropiques. C'est dire que l'approche réductionniste, dès qu'on sort du modèle de l'adaptation clef-serrure cher aux Biochimistes, ne se prête guère à l'évaluation quantitative. Par contre, dès qu'on a mis en évidence l'existence d'une phase ordonnée, on peut s'attaquer à la détermination "a priori" des défauts, voire des agrégations de défauts. Une règle, la règle de Kleman-Toulouse, permet, par des considérations d'homotopie, de classer a priori les défauts structurellement stables (ceci tout au moins si des conditions d'intégrabilité, comme dans les smectiques, ne jouent pas). La théorie des structures ordonnées, qui fait appel aux notions de groupe et pseudo-groupe, est dans une large mesure indépendante de la structure fine des molécules qui constituent le milieu. Mentionnons pour mémoire les schémas catastrophistes, qui, eux font appel à un réalisme de l'espace: il y a impénétrabilité des régimes locaux en conflit, comme pour deux phases non miscibles. Les conditions d'application sont de ce fait assez réduites, mais l'algorithme peut souvent fournir des indications qualitatives sur la nature des singularités (parois).

A côté des ordres statiques comme l'ordre cristallin, il y a lieu de considérer les ordres présentés par les structures cinétique (les "structures dissipatives" de Prigogine). Mais ici, il n'y a pas de théorie générale, et le peu de connaissance qu'on a dans ce domaine provient de l'emploi d'équations continues (Navier-Stokes, équations de réactions-diffusion) et non de connaissances thermodynamiques ou moléculaires. La notion d' "attracteur" des dynamiques locales, en dépit des difficultés mathématiques qui s'y attachent, permet parfois de se rendre compte de l'origine de l'ordre. Par exemple, si les dynamiques locales ont un cycle limite attractant ( $C$ ), un cercle  $S^1$ , alors tout le substrat  $U$  est envoyé sur  $C$  par isochrones qui feuillentent le bassin de  $C$ ; d'où résultent des applications locales  $U_i \rightarrow C$  qui définissent une structure ordonnée que les morphologies de la réaction de Zhabotinsky permettent de visualiser. Mais dès que l'attracteur se complique, augmente de dimension, et (ou) devient fractal, l'ordre se dilue et disparaît progressivement (et pas nécessairement de manière homogène).

Finalement, il n'est guère qu'un domaine où l'approche réductionniste semble triompher sans rival: la Biologie, où le code génétique et l'ADN semblent

répondre aux besoins d'explication de la morphogenèse biologique. Mais un examen plus complet nous invite ici encore à nuancer: le rapport entre structure et fonction chez les protéines, la jonction de la chimie avec la régulation globale du métabolisme, la détermination des différenciations cellulaires en épigénèse soulèvent des problèmes d'une extrême difficulté, qui n'ont pu être masqués que par l'emploi d'une terminologie impliquant des concepts à capacité translocale, quasi magique: information génétique, démiurgie enzymatique... Il n'est pas exclu qu'en de pareils problèmes des concepts semi-globaux, comme celui de champ morphogénétique en Embryologie, ne puissent apporter des réponses satisfaisantes... De plus, l'existence en Biologie de niveaux hiérarchiques d'organisation (molécules, organelles, cellule tissu organe, organisme, espèce...) soulève de grandes difficultés théoriques au point de vue réductionniste; l'existence de ces niveaux est un puissant facteur de simplification dans la description et l'explication des phénomènes vitaux, et nul ne saurait s'en passer. En ce sens, si l'idéal scientifique reste réductionniste, une approche holistique autonome appropriée à chaque niveau reste inévitable et indispensable...

On a vu que l'approche réductionniste repose essentiellement sur l'existence d'éléments discrets. L'approche platonicienne, ou holistique, présuppose une supériorité ontologique du continu. La querelle entre les deux approches est donc une manifestation de cette "aporie fondatrice" des mathématiques qu'est l'opposition Continu-Discontinu. Il faut s'attendre à ce qu'elle dure longtemps.