

# CONSTRUCTIVISMES, ÉMERGENCES : UNE ANALYSE SÉMANTIQUE ET THÉMATIQUE.

Yves-Marie VISETTI  
CREA - CNRS

## SOMMAIRE

### [1. Les constructivismes](#)

- [1.1 Construire](#)
- [1.2 Constructivismes assembleurs et génétiques](#)
- [1.3 Sens et explications constructivistes](#)

### [2. Les émergences](#)

- [2.1 Émergence 1](#)
- [2.2 Émergence 2](#)
- [2.3 Émergence 3](#)

### [3. Éléments pour un état des lieux](#)

- [3.1 L'exemple du connexionnisme à la PDP](#)
- [3.2 L'émergence des fonctions symboliques](#)

### [4. Questions diverses](#)

- [4.1 Gestalt et émergence des unités](#)
- [4.2 Gestalt et champ](#)
- [4.3 Fonctionnement et irréversibilité](#)
- [4.4 Les discours de l'émergence comme genres scientifiques](#)
- [4.5 Causalités, émergences et constructivismes](#)

### [Conclusion](#)

**Résumé :** *Construction, émergence, deux termes récurrents dans le champ des sciences cognitives contemporaines. Cette étude non technique commence par expliciter certaines de leurs dimensions sémantiques et thématiques les plus générales. On caractérise ainsi deux grandes familles de conceptions, appelées respectivement constructivismes assembleurs et génétiques, liées à l'histoire de la logique et du calcul, d'une part, aux théories de la genèse et de l'individuation des formes, d'autre part. On présente ensuite des vues plus spécifiques sur l'évolution des recherches dans les quinze dernières années : problématiques connexionnistes, travaux sur l'émergence des fonctions symboliques, relance des conceptions gestaltistes de la forme et de l'organisation. Il apparaît qu'à travers un vaste champ interdisciplinaire, les deux notions de construction et d'émergence se trouvent désormais nouées l'une à l'autre de façon indissociable.*

**Abstract:** *Construction, Emergence: two recurring terms in the field of contemporary cognitive sciences. This non technical study begins by making explicit some of their most general semantic and thematic dimensions. Two major conceptual families are thus characterized, respectively called assembly constructivism and genetic constructivism, connected to the history of logic and computation, on the one hand, and to the theories of the genesis of forms, on the other hand. More specific views are next presented, concerning the evolution of research in the past fifteen years: connectionist approaches, work on the emergence of symbolic functions, revival of Gestalt concepts of form and organization. It becomes increasingly evident, through a large interdisciplinary area, that the notions of construction and emergence are definitely bound to each other.*

## 1. Les constructivismes

Nous n'essaierons pas ici de recenser avec précision les acceptions spécifiques, et parfois fort techniques, que le terme de *constructivisme* a pu prendre ici ou là, au cours de sa brève histoire d'un siècle : concept esthétique et idée directrice de l'art moderne (première apparition du terme), conception volontariste de la construction des sociétés (naguère critiquée par Hayek), sens logico-mathématique<sup>1</sup>, sens piagétien (ni inné, ni acquis – construit !), etc. Nous n'essaierons pas davantage de décliner un paradigme de termes rivaux – où devrait inévitablement figurer la célèbre *enaction* de Maturana et Varela (*to enact* : *décréter, mettre en scène*), construction permanente et réciproque de l'être vivant et de son monde, structurellement couplés l'un à l'autre<sup>2</sup>. Il s'agira pour nous, plus simplement, de reprendre l'appellation constructiviste dans l'état flottant qui est toujours le sien, pour expliciter quelques-unes des options, passablement divergentes, qu'elle semble recouvrir actuellement dans le champ des disciplines cognitives<sup>3</sup>. Que pourrait être, pour nous maintenant, un tel constructivisme ? Je ne crois pas, et ce ne doit pas être bien difficile à justifier, qu'il soit exact d'y voir, ou qu'il serait bon d'en faire, la *doctrine* organique de tel mouvement ou de telle école. Mais quoi d'autre ? Un *paradigme* constructiviste ? Ce serait encore une forme d'enrôlement – le mot n'est pas trop fort, si nous avons en mémoire la façon dont un certain paradigme logique, symbolique, et computationnel s'imposait naguère aux sciences cognitives – à moins que l'on veuille entendre, sous ce terme de paradigme, la donnée d'un *horizon* pour la pensée, c'est-à-dire d'une limite structurant le paysage, parce qu'elle se déplace avec nous et reste toujours à distance, même quand elle conditionne nos intuitions les plus proches, les plus immédiates.

### 1.1 Construire

Donc constructivisme, version ontologique : tout ce qui existe est construit ; exister, c'est par excellence être construit. Version normative : n'existe comme objet, et n'est connu à bon droit, que ce qui est construit d'une certaine manière. Énumération des *topoi* constructivistes : la construction n'est relation avec rien qui préexiste entièrement à son advenue ; en elle accès et objet ne font plus qu'un. Une construction se joue dans le temps de son effectivité, mais ses enjeux débordent ce temps spécifique ; en particulier, le système constructeur et sa construction (en tant que trace distinguée dans le procès) peuvent se rectifier et se contester mutuellement : marque de l'anticipation, ou de la norme, qui fait partie intégrante de la construction et la sanctionne<sup>4</sup> ; et marque aussi de l'effet en retour de la construction sur le système qui se décale, et se construit lui-même à la faveur de ses opérations – toujours marquées de contingence.

Sujets à controverses : rien de ce qui est construit, *s'il fait sens*, ne peut être entièrement préspecifié ; car anticiper ce n'est pas seulement déterminer le futur à partir du présent, c'est aussi relancer l'ouverture constitutive, ajuster indéfiniment dans l'expérience ce qui doit rester vague, à raison même de l'ouverture constitutive de cette expérience. Construire est toujours en même temps reconstruire en décalant, et toute répétition se fait dans la différence : que cela s'appelle "se reproduire", ou "autopoïèse". De même les traces, qui survivent aux procès de construction, doivent être réactivées, reconstruites, et peut-être reconfigurées, pour jouer à nouveau un rôle en situation. L'individuation est toujours un procès, jamais un état achevé. Tout serait relation de détermination réciproque dans la construction de l'individu (ou du collectif) et de son monde. Enfin par là-dessus, viennent les thèmes gestaltistes<sup>5</sup>, qui se mêlent parfaitement à cette dernière version, litigieuse, des thèmes constructivistes : car pour l'ancien courant gestaltiste, la construction advient toujours dans un champ global, qui inclut le sujet et son monde ; elle remanie toujours ses constituants ; c'est ensemble que tous et parties co-adviennent, dans un processus de déterminations croisées. Les formes, d'autre part, se transposent plutôt qu'elles ne se répètent à l'identique : avant même tout problème complexe d'invariance, il y a la transposition (en un sens concret, effectif), qui est une propriété définitoire des formes. Et il y

a, dans la genèse des Gestalts, des échelles et des portées temporelles décisives, qui renvoient à toute une organisation gestaltiste du temps.

## 1.2 Constructivismes assembleurs et génétiques

L'époque serait marquée par deux grandes conceptions du constructivisme :

– Une première conception, jusqu'ici privilégiée dans les recherches formelles, met en avant une hiérarchie d'objets de plus en plus complexes, dont la définition, puis l'engendrement effectif par calcul ou assemblage matériel, doivent se faire dans l'ordre prévu par cette échelle de complexité. Il y a alors, nécessairement, des éléments primitifs (non construits) dont l'individualité ne se modifie pas en participant à la construction, et subsiste inaltérée dans la trace des procès. Ces éléments mis à part, seule une construction, décrite entièrement dans son effectivité et sa progressivité, garantit l'existence, fonde l'ontologie ; en général, la construction se décrit sur un mode finitiste ; elle tend à être un processus, et non l'acte d'un sujet (ce serait sinon un constructivisme *phénoménologique*, semblable en cela à l'intuitionnisme mathématique dans la version originale de Brouwer). Selon sa version calculatoire la plus stricte, deux relations structurales seulement suffisent à ce premier constructivisme : celle, spatio-temporelle, de juxtaposition ou succession ponctuelle le long d'échelles discrètes, et celle, logique, de relation entre termes.

– Une deuxième conception, qui viendrait de la philosophie de la vie du 19e siècle et du début du 20e, de l'embryologie (Paul Weiss<sup>6</sup>), de la Gestalt, de Piaget, de la deuxième cybernétique, des courants phénoménologique et herméneutique en philosophie, semble accueillir tous les thèmes litigieux recensés dans la section précédente. Ici toute construction se comprend comme la croissance, la différenciation, la complexification d'un potentiel qui est *déjà organisé* dès le début, sans pour autant déterminer de façon immanente le procès qui s'engage : ce n'est pas la propriété d'un plan ou d'un programme, mais d'abord celle d'un support dynamiquement organisé, à la fois clos et ouvert, sur un mode spécifique qui est créateur d'histoire. Local et global, structure et procès, se déterminent réciproquement et dynamiquement. L'individualité de la construction, comme celle de ses parties, n'est jamais acquise. On décrit plutôt des réorganisations, ou le déploiement d'une organisation esquissée dès le départ, et non des apparitions d'organisations à partir de rien. L'organisation semble toujours un terme primitif : être, c'est être organisé, préexister c'est être préorganisé, etc. On sait d'autre part l'accusation de *holisme* qui poursuit, encore aujourd'hui, cette deuxième conception, et à quel point elle contribue puissamment à sa mise en minorité dans les sciences<sup>7</sup>.

Nous proposerons d'appeler respectivement *constructivisme assembleur* et *constructivisme génétique* ces deux familles d'approches. Pour le constructivisme assembleur, le fait capital de notre conjoncture scientifique et technique est évidemment le développement de l'informatique, conçue comme effectivité universelle du calcul et de la logique, monde strictement logico-algébrique. Là se trouvent conjuguées, ou plus exactement identifiées sous la forme d'une écriture automatique, ces deux structures élémentaires de la juxtaposition spatiale et de la relation logique dont nous parlions plus haut. Pour le constructivisme génétique, en revanche, c'est le développement des modèles physico-mathématiques de systèmes dynamiques, à présent fondus dans la gamme des *systèmes complexes*<sup>8</sup>, qui joue un rôle symétrique, et qui permet notamment, grâce aux mathématiques du continu, à la topologie, etc. de ne pas en rester à une image strictement holiste, c'est-à-dire scientifiquement indémêlable, des phénomènes de détermination réciproque du local et du global, de (dé)stabilisation et d'historicité de *toutes* les unités structurales, qui font justement le prix de cette deuxième approche. Ironiquement, avec l'informatisation des modèles dynamiques apparaît un autre sens de l'informatique, quelque peu refoulé jusque là : le calcul ou même la logique ne sont plus vus comme un fondement (par exemple des mathématiques), mais comme des outils de construction, qui opèrent *au milieu* de l'activité de modélisation – et non *avant*, à la façon d'une *fin préassignée*, et

comme s'il était question de *réduire* tous les phénomènes à la forme, logique ou algébrique, d'une écriture informatique<sup>9</sup>.

### 1.3 Sens et explications constructivistes

Ces deux constructivismes se distinguent également relativement à la question du sens, ou à celle de l'intentionnalité. Pour la première conception, le sens de la construction tient à sa structure entièrement explicitable à la façon d'un *plan*, ou d'un *programme* (sans rien exclure de la polysémie de ces deux termes) ; ceux-ci contraignent rigoureusement les opérations de composition ; mais c'est à la condition que le milieu ambiant garantisse, par son unité et son format physiques, la conformité des assemblages. Toute la question est évidemment de savoir d'où le milieu tire cette stabilité décisive, que l'assemblage exploite mais, semble-t-il, n'assure pas de lui-même. Dans la seconde conception, en revanche, la construction est le déploiement d'un projet ou d'un germe qui croît et se différencie à partir d'un être-au-monde. L'organisation, la structure de la construction exprime en permanence la possibilité d'un arrangement singulier et situé, avec et dans le monde. La signification première de la construction est donc la poursuite d'un projet situé, le maintien d'une orientation concrète : il faut continuer, continuer toujours à se développer/différencier, parce que situé dans un monde non indifférent. Solidarité inaliénable avec un monde, et distinction maintenue avec ce monde sont donc les deux grandes contraintes encadrant la construction en ce deuxième sens génétique.

Pour ces raisons nous avons affaire, dans l'une ou l'autre conception, à deux approches différentes de la compréhension et/ou de l'explication. Pour le constructivisme assembleur, il s'agit le plus souvent de reconstruire un processus cohérent et complet fait d'opérateurs et d'opérandes parfaitement individués. En droit, sinon en fait, tout moment de ce processus peut s'identifier formellement. Pour le constructivisme génétique, au contraire, il faut reproduire d'une façon qui se sait toujours incomplète et marquée par un *vague* irréductible, l'actualisation d'un potentiel global qui se transforme lui-même chemin faisant. La description génétique d'une construction présente donc deux faces : l'une détermine quantitativement ce potentiel implicite au départ, en acceptant que sa détermination, même très précise, aille de pair avec une certaine opacité (comme c'est le cas lorsque le potentiel est reconstruit par inférence statistique) ; l'autre, plus qualitative et la première sur le plan phénoménologique, explicite ce qui s'actualise, et fait sens pour l'observateur qui distingue des morphologies, des organisations, des stades. Ces deux moments appellent des élaborations théoriques propres, mais peuvent aussi mobiliser les mêmes mathématiques ou la même informatique, différemment interprétées dans l'un et l'autre cas. Ainsi la précision des calculs, imposée de toute façon par la médiation informatique, n'est pas toujours significative de la même manière. Seules comptent les structures qui font sens vis-à-vis des phénomènes ; en général les déterminations numériques ne sont qu'un moyen de représenter ces structures, et non une détermination directe des phénomènes modélisés<sup>10</sup>. Enfin, si l'explication se veut fidèle à ses présupposés génétiques, elle devra toujours se rattacher à la continuité de l'être au monde (et donc si possible à l'autopoïèse) du système qu'elle s'astreint à reconstituer : l'être au monde ne se suspend pas, ne s'interrompt jamais, il faut donc expliquer qu'il survive et se reproduise au présent, comme compromis d'ouverture et de clôture, d'instable et de stable. Il y a là toute une nouvelle utopie scientifique, distincte de celle qui accompagnait le déterminisme laplacien<sup>11</sup>, distincte aussi de celle qui s'exprime dans une recherche de formalisation exhaustive des opérations de la connaissance. Cette utopie différente inviterait plutôt à *expliquer* ensemble l'acte et les objets du connaître, au sens de les rendre plus clairs, plus manifestes, plus articulés, et finalement de les faire exister comme des supports nouveaux pour l'interprétation et l'action. C'est donc à une modélisation interprétée, ou si l'on préfère à une herméneutique modélisante, que revient une partie de cette tâche, consistant à inventer des tenant-lieux toujours provisoires pour cet horizon d'*explicitation*.

On peut penser, il est vrai, que l'explication génétique (au sens que nous venons

d'esquisser) n'est qu'un stade préalable, une simple préparation pour une explication par assemblage qui devrait inévitablement lui succéder. Mais il semble qu'il faille aller plus loin, et reconnaître ici un double différend, ontologique et herméneutique, affectant le projet-même, et les normes de constitution d'une rationalité scientifique (différend qui, heureusement, n'empêche pas toujours la mise en commun d'une part importante du travail d'explication). Un constructivisme génétique radical postulerait volontiers que les êtres qu'il étudie sont historiques et relationnels en même temps que matériels : il n'y aurait pas d'unité, si primitive soit-elle, qui ne présente ce triple caractère. L'être-historique-et-relationnel de ces entités impliquerait fluctuation de leur inscription matérielle, vague irréductible dans la délimitation ou la composition des substrats ; si bien que la portée des explications par assemblage (qui restent cependant localement indispensables) en serait constitutivement limitée, et toujours dépendante d'un arrière-plan dont l'explicitation incomberait au seul constructivisme génétique. Dans le cas même où l'on parviendrait à convenir d'éléments premiers et de primitives d'assemblage au départ d'une explication, on le devrait à la communauté historique de sens et de langages où ces distinctions se stabilisent et font l'objet de calculs : les principes d'individuation sont alors ancrés à des conventions sémantiques, à une déontologie herméneutique, qui permettent, et prescrivent, de passer outre aux lacunes, aux intermittences, à l'arbitraire-même des inscriptions matérielles<sup>12</sup>.

Y a-t-il alors, entre les deux familles constructivistes, simple litige, ou bien véritable différend qu'aucun langage commun ne saurait traduire ? La querelle, en tout cas, commence très tôt en amont de toute recherche. Elle éclate particulièrement sur la question de *l'information*. Les constructivismes assembleurs sont tentés d'en donner une définition objectiviste, préassignée par la structure éternelle d'une extériorité, ou bien par une intériorité définitivement formatée. Pour les constructivismes génétiques, en revanche, l'information ne préexiste pas à des systèmes qui la traiteraient en s'y conformant, ou parce qu'ils lui seraient déjà conformés : elle émerge comme différence significative, relativement à des vivants engagés dans un rapport aux autres et au monde. Ensuite seulement peuvent-ils commencer à la stabiliser, l'amplifier ou l'atténuer, et lui rapporter leurs conduites, notamment (pour les humains) en calculant.

Reste néanmoins la question de l'entrelacement des deux constructivismes, de la complicité qu'ils entretiennent, dans notre imagination comme dans notre pratique scientifique, chacun venant tour à tour suppléer aux limites de l'autre, et chacun s'attachant à mimer, dans son style propre, les parcours constructifs de l'autre<sup>13</sup>. Cela mis pour dire que leur distinction, du reste à peine esquissée ici, n'est certainement pas faite dans le but d'obtenir des classifications sans reste.

## 2. Les émergences

Là encore, nous ne ferons que repartir librement du mot, pour un résumé rapide, mais déjà critique, des thèmes cognitifs qu'il est venu étiqueter. On peut dire, d'une façon toute rétrospective, que la thématique de l'émergence est apparue au sein de travaux relevant d'une problématique constructiviste – plutôt de la tendance *assembleur* – pour signifier qu'on y relevait désormais un nouveau défi : celui d'expliquer scientifiquement, au prix d'une réforme considérable du cadre initial rendue possible par l'apparition de nouveaux modèles (modèles connexionnistes, modèles de renforcement, algorithmes "génétiques"), des phénomènes dont on admettait, dans les cercles concernés, qu'ils avaient été jusque là mieux décrits – mais non expliqués – dans la perspective que nous appelons ici *génétique*. Il y a donc ambiguïté constitutive du projet : pour les constructivismes assembleurs saisis par la fièvre émergentiste, s'agit-il d'un simple aménagement, ou va-t-on au contraire vers une réforme profonde ? et de son côté, la minorité agissante des constructivismes génétiques

va-t-elle se dissoudre dans cette nouvelle confrontation ? ou bien au contraire assistera-t-on à un basculement général vers un constructivisme génétique qui serait revendiqué, conscient, explicite ? Questions dont les réponses se cherchent encore, mais questions ouvertes tout de même tant que dure le chantier scientifique de l'émergence.

Mais pour le moment, essayons simplement de décliner différents sens de l'émergence. Sa réception plutôt favorable dans le contexte scientifique n'a pas diminué – au contraire – la polysémie du terme (*sortir de, s'élever, apparaître, se dégager, surgir...*). Néanmoins, nous proposerons de distinguer provisoirement trois grandes familles d'emplois, ou plutôt trois moments, de complexité croissante.

## 2.1 Émergence 1

Dans un premier sens [que l'on pourrait qualifier de *synchronique*], on parlera d'émergence à propos des modes de description macroscopiques de systèmes dans lesquels les interactions de base se situent à un niveau microscopique. On pose alors la question de savoir comment relier ces deux modes de la connaissance scientifique *d'une seule et même réalité*, et quel statut ontologique assigner à l'organisation macroscopique, étant entendu que celui du niveau microscopique est présumé bien établi. Un problème-clé, dans cette perspective, est celui de l'universalité des propriétés macroscopiques émergentes, par laquelle se manifeste leur relative indépendance vis-à-vis de certaines qualités microscopiques singulières de leur substrat. Le niveau macro devient alors celui où l'organisation peut se manifester, d'une part en tant que *transposable* à d'autres substrats, et d'autre part en tant que s'exprimant à des *échelles* spatio-temporelles plus directement phénoménologiques. On va alors vers une analyse (bio)physique des formes significatives de notre vie, qui s'inscrit dans le cadre d'un réductionnisme physique ordinaire, par exemple en appliquant des méthodes de physique statistique à l'étude des réseaux connexionnistes. Ce réductionnisme, jusque-là interne aux sciences physiques, commence ainsi de se conjuguer au programme de naturalisation du sens, ou du moins de ce qui, dans le sens, se prête à une telle mise en forme.

Dans cet usage principalement physicien du terme, les différents *niveaux* d'explication concernent en fait les mêmes réalités matérielles, différemment et simultanément appréhendées en fonction de notre perspective du moment. Mais en fait il pourrait aussi bien s'agir de biophysique, de psychophysique, ou de comportement, si l'on admet la possibilité de différents modes de descriptions d'une seule et même réalité – le corps et son milieu –, qui soient peut-être susceptibles de réduction mutuelle (que certains, dans un esprit constructiviste assembleur, avaient naguère comparée à une compilation progressive de langages informatiques<sup>14</sup>). Soulignons que ces niveaux d'explication ne s'étagent pas nécessairement sur une ligne 'verticale' unique : ils forment plutôt un arbre, ou même un treillis, dont la racine commune et ultime relève, de par son ontologie et sa causalité propres, d'une physique en bonne et due forme. On admettra donc une certaine hétérogénéité, ou intraductibilité, des modes qui ne seraient pas situés sur une même branche de ce treillis des réductions-émergences. Ceux qui, en revanche, se succèdent le long d'une unique branche, se prêteraient à des procédures approximatives mais opératoires de réduction systématique.

## 2.2 Émergence 2

Dans un second sens [que l'on pourrait qualifier de *diachronique*], l'émergence désignerait plutôt un *changement* de l'organisation macroscopique, obtenu alors même que les conditions structurales et dynamiques du substrat de référence demeurent fortement contraintes (qu'il s'agisse de composition matérielle, de famille de processus, ou d'ouverture sur l'environnement). L'observateur scientifique pourra être conduit à modifier ses moyens

de description, ou du moins à constater un changement brusque de la pertinence de ceux dont il dispose. Ainsi, en physique statistique, le rôle des *paramètres d'ordre* dans la caractérisation de l'état macroscopique pourra varier considérablement entre " l'avant " et " l'après " (par exemple, en passant d'un état gazeux à un état liquide, le volume devient un quasi-invariant). Pour rendre compte, dans un cadre dynamique, des nouvelles valeurs prises par les descripteurs pertinents (il peut s'agir ici indifféremment des états d'un système physique, biologique, psychologique ou social), on étudie alors l'évolution des apports externes, et des facteurs d'organisation internes, qui paramètrent ensemble la dynamique intra-systémique<sup>15</sup>.

Le cas de l'observateur scientifique relève de l'épistémologie des sciences, aux prises avec un changement de régime important, affectant une certaine région de phénomènes. Mais s'il s'agit d'un " sujet " psychologique, l'émergence au sens 2 concerne le cours le plus ordinaire de l'existence : une forme apparaît tout à coup sur un fond, une image ambiguë bascule, on s'adapte à des conditions sensorielles bouleversées (lunettes inversantes), etc. " Observateur ", comme " sujet ", impliquent tous deux des idées de discontinuité, parfois d'irréversibilité. Dans le cas du " sujet ", la problématique de l'émergence s'illustre en premier lieu par les phénomènes de reconfiguration des champs perceptifs – si l'on entend par là toute situation où la reconfiguration est consciemment vécue comme telle, et s'accompagne d'émotions spécifiques. Mais on peut considérer que cette problématique concerne en réalité toute structuration et toute reconnaissance perceptives, dès le moment où, en les décrivant au niveau de leur *microgenèse*, on leur donne le statut d'une émergence, impliquant en arrière-plan une élaboration constante du système perceptif<sup>16</sup>. Certains travaux, proches du constructivisme assembleur, ont traité de ces questions par l'intermédiaire de hiérarchies de détecteurs, culminant en macro-détecteurs caractéristiques des entités à typer ou reconnaître (Bonabeau, Dessalles, Grumbach 1995). D'autres, que l'on peut davantage rattacher au constructivisme génétique, ont cherché à mathématiser des principes gestaltistes de structuration, se traduisant par des processus d'intégration, au sens du calcul différentiel, par des processus de diffusion, au sens des équations aux dérivées partielles, et par des événements de stabilisation et de bifurcation, au sens des systèmes dynamiques. La règle du jeu est de chercher ensuite à proposer des équivalents dans un cadre connexionniste (J. Petitot, réf. citées). Notons que de telles structures dynamiques pourraient très bien comporter par elles-mêmes des adaptations motrices et attentionnelles, et représenter de fait la réponse catégorisante du système : si bien qu'il ne serait pas nécessaire d'en passer par des macro-détecteurs séparés, ni d'aller au-delà de cette première construction pour pouvoir lancer une action.

Qu'il s'agisse de science, ou du monde de la vie ordinaire, l'émergence au sens 2 peut résonner de façon dramatique dans le monde propre de l'observateur ou de l'acteur, détruire dans une certaine mesure son ontologie ou sa causalité de référence, et imposer l'introduction de nouveaux moyens de perception, d'objectivation, plus largement de compréhension. Comme le souligne le physicien Francis Bailly (1991a,b) pour le cas des systèmes physiques complexes, une certaine grandeur caractéristique du système diverge brutalement (par ex., une longueur moyenne de corrélation, lors d'une transition de phase), des variations infinitésimales, quand on les repère dans le référentiel initial, produisent des effets finis voire infinis. Il faut alors remanier tout ou partie de l'appareil mathématique engagé, sans garantie de trouver un langage commun qui convienne à la détermination de " causes " structurales ou fonctionnelles (avant le changement) en même temps qu'à celle d'effets (qui se manifestent ensuite dans des structures différentes). C'est tout particulièrement la continuité des formes de repérage macroscopiques qui pose problème ici : car les dimensions principales de l'expérience, et les modes de description de " l'avant " et de " l'après " peuvent se révéler incommensurables à ce niveau, alors même que l'on chercherait à dégager un arrière-plan systémique qui donnerait sens à l'ensemble des métamorphoses.

Résumons. Dans le cas le plus " simple " de l'émergence au sens 1, l'organisation reste

calée sur un unique régime de fonctionnement. Structurellement et fonctionnellement stable, elle tourne rond à ses différents niveaux, en composant et décomposant ses structures caractéristiques sur plusieurs modes d'abstraction ou d'intégration hiérarchisés. Mais dans l'émergence au sens 2, un mode A de l'organisation rencontre une limite, et passe (irréversiblement ?) la main à un mode B, entraînant peut-être une sorte de rupture ontologique. Modéliser une telle situation implique de postuler tout de même un substrat commun à ces deux modes, qui persiste quant à lui dans sa propre causalité-légalité-objectivité, et qui, par définition du sens 2 de l'émergence, reste très contraint dans sa composition et ses lois dynamiques. On peut dire, de façon imagée, que le substrat, ou la " matière ", subvertit le système des formes et des opérations qui s'y inscrivaient (mais peut-on encore distinguer des " formes " et des " opérations " ?), et les refond en de nouveaux paradigmes<sup>17</sup>. La modélisation de ces phénomènes de changement irréversibles ou " catastrophiques ", quoique techniquement difficile, a de fait gagné d'assez larges cercles cognitifs, à la faveur notamment de la reprise de certains concepts dynamiques dans le cadre connexionniste (appliqués à des thèmes comme la formation des répertoires corticaux primaires, la construction de boucles sensori-motrices, l'adaptation, la catégorisation...). Cela se comprend aisément : les abus du paradigme logico-symbolique jusque là dominant ont valorisé à la longue d'autres modèles (cf. *infra*, 3<sup>e</sup> partie), pourtant eux-aussi d'une simplicité caricaturale, mais capables en revanche d'inscrire les structures à l'intérieur de cadres de variation continus, pour trouver, à partir de là, de nouveaux compromis entre stabilité et plasticité dans la construction des systèmes.

### 2.3 Émergence 3

Dans un troisième sens [plus authentiquement *génétique*], l'émergence combine les deux acceptions précédentes à l'idée d'investissement progressif, de recrutement de nouveaux substrats, et plus généralement à l'idée d'une ontogenèse des substrats, en tant qu'elle réclame une élaboration permanente de leurs relations à des " partenaires " et à des " environnements ", qui ne doivent plus être considérés comme des donnés, mais comme des construits. Il s'agit alors, par exemple, de la relation *génétique* de co-constitution qui peut exister entre deux régions d'un système, entre deux systèmes, entre un système et lui-même, ou bien sûr entre un système et un environnement qui se construisent réciproquement (construction de nids, tracé de chemins, organisation corrélative de rôles et de territoires...)<sup>18</sup>.

Dans un travail portant sur l'émergence au sens 3, le renouvellement des substrats, le déplacement matériel de leurs frontières, la prise variable du système sur l'environnement (ou, de façon duale, l'intégration variable de l'environnement au système), avec *in fine* la transformation active de l'environnement et des corps eux-mêmes, deviennent des questions clés<sup>19</sup>. La production par une cellule d'une nouvelle protéine, qui fait évoluer son organisation interne et ses relations au milieu, relève de ce type d'émergence. Et de même l'invention d'un geste technique ou d'un instrument, qui bouleverse l'organisation sociale, et transforme la relation à d'autres sociétés.

Le problème pourrait se poser ainsi : partant de A et de son environnement, il faut passer à A + B par investissement et réorganisation de B (et bien sûr de A lui-même). Voilà un scénario, certes très générique, qui relève de l'émergence au sens 3. On verra par exemple des événements, au début aléatoires ou inédits, se faire de plus en plus réguliers au sein de la région A, au fur et à mesure qu'ils entrent en résonance avec des événements supportés par B. Cette deuxième région (qui peut bien sûr être incluse dans A, ou se confondre avec le site d'une production alimentée par A) se construit elle-même à la faveur de cette interaction, qu'il faut alors intégrer à la nouvelle description " structurelle " ou " fonctionnelle " de l'ensemble. Selon les cas, et selon la perspective plus ou moins paritaire adoptée, l'interaction pourra s'interpréter comme détection, représentation, médiation,

instrumentation, production, investissement, annexion, association, co-évolution, etc. Si l'on adopte une perspective centrée sur A et sur son identité, on pourra dire, quitte à employer un langage quelque peu téléologique, que ce développement, ou cette extension, de A, permet d'autonomiser partiellement le traitement de certains aspects organisationnels de A, en les *transférant* effectivement à B, où ils évoluent autrement que s'ils étaient restés exclusivement tributaires de leur substrat d'origine. En retour, il apparaît sur A des phénomènes inédits, qui dépendent de la dynamique d'investissement de B. Le couplage émergent entre A et B peut aussi susciter de nouvelles "fonctions", qui périssent l'organisation de A, et altèrent définitivement son identité. Mais on pourrait alternativement centrer l'analyse sur B, et interpréter plutôt le processus comme une instrumentalisation de A au service de l'émergence de B. La reproduction animale, envisagée du point de vue du groupe, du troupeau ou de l'essaim, en serait un exemple paradigmatique. Le cas limite où A = B signifie simplement que l'organisation travaille en permanence à sa propre reconstitution : l'autopoïèse est une émergence ou genèse permanente, le simple fait de survivre au présent est l'actualité même de l'émergence, et toute problématique qui oublierait d'inclure ce cas-limite, en fait le plus générique, serait en défaut par rapport à son thème. Ici donc l'organisation se fait autonome, puisqu'elle semble littéralement, à l'inverse du sens parcouru par les réductions causales, aller constamment s'incorporer et se soumettre son propre substrat : au point qu'il semble impossible de redescendre jusqu'à des conditions matérielles de ce substrat qui ne seraient pas déjà sous la dépendance de la totalité organisationnelle toujours re-naissante<sup>20</sup>.

Comment ne pas reconnaître, alors, la supériorité épistémologique des constructivismes génétiques ? En psychologie, en tout cas, on est irrésistiblement conduit à dénoncer la prétendue existence préalable et séparée du niveau de base du treillis des réductions ontologiques-causales (sa 'racine', parfois comprise en termes physicalistes). Car ce niveau est fait d'entités qui ne préexistent pas toujours à leur mise en relation, et qui doivent leur identité, leur stabilité, et avant tout leur placement, aux organisations qui les produisent, les recrutent, et les encadrent. Comme le disaient les gestaltistes, on ne peut pas expliquer l'organisation psychologique à partir d'états antérieurs prétendument inorganisés : tout au plus peut-on décrire des réorganisations plus ou moins novatrices. C'est ainsi du moins qu'ils reformulaient leur critique du couple atomisme/associationnisme. De la même manière, dans le cas des organisations physiques, il est courant de souligner que l'apparente réduction de l'organisé à de l'inorganisé préalable ne tient qu'à l'adjonction de conditions aux limites encadrant la dynamique des modèles : ces conditions, qui ne sont pas elles-mêmes expliquées, expriment en effet les invariants pré-organisationnels de tout le processus d'organisation ainsi reconstruit.

En termes matérialistes, on pourra dire que le sens 3 souligne que l'organisation recrute ou produit sa propre matière (ce que le sens 1 ne faisait qu'annoncer en transposant abstraitement l'organisation de substrat en substrat). Le sens 2 rappelle de son côté que la matière intra-systémique, même très contrainte dans sa composition et ses lois dynamiques, peut être la source d'une nouveauté radicale pour l'organisation interne, et même, dans une certaine mesure, pour le couple système-monde propre. En passant du sens 1 (restreint aux clôtures fonctionnelles stables) au sens 3, le rôle fonctionnel de la nouveauté, ou au moins de la fluctuation significative, et corrélativement celui de la redéfinition et de la construction de l'environnement, ne cessent d'augmenter<sup>21</sup>. Une approche "fonctionnaliste" de ces émergences devient donc de plus en plus intenable – même si l'émergence au sens 1, ainsi qu'au sens 2, a pu sembler à certains (J. Petitot) compatible avec un nouveau fonctionnalisme dynamique, opposé au fonctionnalisme logique défendu naguère par Fodor-Pylyshyn<sup>22</sup>.

### 3. Éléments pour un état des lieux

Qu'en a-t-il été, finalement, de cette intronisation *scientifique* du concept d'émergence ? On pourra s'étonner de son caractère tardif, alors que tant de travaux en avaient d'assez longue date jeté les bases. Mais à l'évidence, elle a *suivi* le développement théorique, et surtout pratique, de la modélisation, phénomène consécutif à la pénétration de l'informatique dans tous les domaines scientifiques. Les concepts en ont été modifiés, en même temps que se discutait le statut épistémologique de ces nouvelles constructions informatiques : écritures dynamiques matérialisant de nouveaux types de parcours sémiotique ? métaphores fondatrices pour d'hypothétiques représentations mentales ? relais décisif, mais uniquement relais, pour des mathématiques restées intactes en profondeur ? instances validantes pour de nouveaux critères d'effectivité ? modèles empiriquement réfutables, ou bien modèles spéculatifs " d'épistémologie expérimentale " ? Sans doute chacune de ces conceptions pourrait-elle revendiquer ici quelque chose, et prétendre livrer mieux que d'autres le sens de tel ou tel travail émergentiste. Banalité constamment oubliée : la technique anticipe bien sur la théorie qui prétend la prendre pour instrument, mais en même temps le sens de la technique bouge d'une façon imprévisible. Et cela concerne les dispositifs concrets (comme l'ordinateur), aussi bien que les modèles abstraits (comme celui de la machine de Turing). Au début, ils apparaissent comme des emblèmes épistémologiques univoques ; mais tôt ou tard ils sont requalifiés, parfois même en simples instruments, et mis au service d'une pluralité d'épistémologies.

Avant l'invention de l'informatique, il y avait bien des constructivismes à l'œuvre dans les champs biologiques et cognitifs – si du moins nous nous autorisons à en projeter rétrospectivement la notion dans *l'episteme* d'une autre époque ; c'étaient sans doute, à l'exception notable du constructivisme piagétien, des options principalement philosophiques, riches en descriptions, peut-être, mais pauvres en schèmes et en procédures d'objectivation. Une fois l'informatique venue, le constructivisme assembleur, déjà incarné par la logique formelle et la théorie du calcul, s'est vu ouvrir un horizon illimité ; il a acquis le statut d'un paradigme universel, et paru un moment gagner la bataille. Mais son succès même, notamment dans la transposition des idéalités mathématiques auxquelles il a communiqué une *effectivité* nouvelle, n'a pas seulement fait progresser la mise en logique et l'arithmétisation du monde : il a aussi ramené au premier plan, là où on les avait oubliées, des conceptions dynamiques, topologiques, et génétiques, dont l'autonomie et l'irréductibilité par rapport au discret et au calcul n'ont pas été perdues de ce fait, mais seulement renégociées<sup>23</sup>. Ainsi le paradigme logico-computationnel qui dominait jusque là les sciences cognitives – en les réduisant à l'étude d'une intériorité mentale fixée dans la forme logique – pouvait commencer d'apparaître, *sur son propre terrain*, pour ce qu'il est véritablement : une simple interprétation, somme toute très limitée, de l'apparition de l'informatique, projetée à rebours dans le fonctionnement de l'esprit humain. Son affaiblissement ouvrait bientôt la voie au développement d'autres problématiques, mieux à même de penser ensemble formes, actions, et cognitions. Car on pouvait désormais s'appuyer de façon effective à des schématismes mathématiques, et non plus uniquement à des formalismes logiques, et par là modéliser les phénomènes de l'esprit en analogie ou en continuité avec ceux du monde physique – les statuts cognitifs de la perception et de l'action s'en trouvant modifiés, en même temps que ceux du continu et de l'espace. Et de surcroît l'on pouvait, à l'aide de ces mêmes schématismes, apporter aux phénomènes d'origine les variations virtuelles et reproductibles, qui permettent de les penser comme soumis à des lois (point de vue nomologique), tout en reconstruisant certains de leurs aspects (point de vue constructif) avec une précision (et donc une réfutabilité) jusque là inconnues dans les questions d'évolution, de développement, ou de morphogenèse.

Cela n'a pas été sans confusions, bien longues à dissiper – pour autant qu'elles le soient tout à fait. Ainsi par exemple, certains discours émergentistes annonçaient au début une coupure radicale avec l'explication par assemblage, et promettaient d'élaborer des théories et des modèles donnant enfin leur chance aux perspectives génétiques. Mais tout compte fait, la perspective qui en a résulté serait mieux qualifiée d'hybride. La thématique, la

phraséologie, et certaines velléités philosophiques qui s'expriment dans ces travaux, peuvent en effet sembler, et ont d'ailleurs paru un temps, authentiquement *génétiques* : mais c'est finalement en un sens superficiellement proche de celui que nous avons défini plus haut ; tandis que leur style explicatif, leurs ontologies ou leurs phénoménologies de référence les apparentent encore au constructivisme assembleur, qu'ils viennent souvent compléter, plutôt que dépasser. Sans prétendre un instant offrir un tableau clair et détaillé de la situation – probablement un projet chimérique –, on pourra au moins esquisser un bilan de cet ordre à propos de plusieurs courants, en psychologie, en linguistique, et dans les recherches sur l'émergence des fonctions symboliques, qui se sont appuyés sur les progrès enregistrés dans les années 80 par les modèles connexionnistes<sup>24</sup>. Il aurait été également intéressant de fournir un aperçu, même bref, de la situation sur le front des recherches en morphogenèse, en Vie Artificielle, et dans le domaine des *Animats* : tous sujets décisifs pour une réflexion d'ensemble sur le constructivisme et l'émergence, et qu'il faudrait par conséquent rattacher au cadre plus étroitement cognitif de cet article. Mais la place, sinon les compétences, nous manquent pour cela.

### 3.1 L'exemple du connexionnisme à la PDP

Depuis la parution en 1986 du livre-manifeste *Parallel Distributed Processing*, édité par J. McClelland et D. Rumelhart, de nombreux travaux connexionnistes ont prétendu renverser le cognitivisme "orthodoxe" naguère dominant, qui était entièrement fondé sur l'idée de syntaxe formelle. Examiné dans la perspective qui est la nôtre ici, ce cognitivisme apparaît rétrospectivement comme une espèce mentaliste et fonctionnaliste de constructivisme assembleur<sup>25</sup> : mais en l'occurrence une espèce particulièrement difficile à concilier, et peut-être même incompatible, avec toute problématique de l'émergence. Les conséquences très strictes de son option syntaxique sont bien connues : dans un tel univers, les structures relèvent chacune d'un type formel bien défini ; elles se construisent à partir d'un répertoire discret d'atomes primitifs et de relations ; elles s'articulent de façon univoque en constituants ; et elles fournissent ainsi la base d'inférences logiques, ou fondent des calculs rigoureusement compositionnels en sémantique<sup>26</sup>. A cette conception formelle, et non primitivement évolutive, de structures considérées par ailleurs comme des représentations, on voulait opposer, et en fait substituer, une autre façon de voir, fondée sur l'étude de la mémoire et des mécanismes perceptifs, et qui placerait l'apprentissage, les effets de contexte, et de nouveaux processus dynamiques d'inspiration neuromimétique, à la base même de toutes les opérations cognitives. L'espace des représentations serait dorénavant l'espace des états internes d'un réseau. L'atomisme, le logicisme, l'autonomie de la syntaxe, la compositionnalité stricte en sémantique, les règles et les types formels, les architectures fonctionnelles cloisonnées en modules indépendants : tous ces éléments, caractéristiques de l'ancienne approche, furent balayés, ou du moins changèrent de statut. Ils furent d'abord dénoncés comme des présupposés erronés, pour être ensuite réintégrés, mais dans un rôle relativement diminué, à l'issue d'une belle polémique où s'illustrèrent notamment J. Fodor et Z. Pylyshyn dans le camp des orthodoxes, et P. Smolensky dans celui des connexionnistes. De principes explicatifs qu'ils étaient dans le point de vue orthodoxe – qualifié désormais de classique, par souci d'apaisement –, ils devinrent plutôt des modes de description, souvent utiles mais par essence approximatifs, qu'il fallait compléter et surtout expliquer dans le cadre du nouveau paradigme ; celui-ci apparaissait désormais comme un dépassement conservateur de l'ancien, un peu à la façon dont la mécanique statistique avait pu corriger, et justifier en même temps, la thermodynamique qui l'avait précédée. Le principe de cette reprise était simple : le connexionnisme devait comprendre les symboles de l'approche classique comme des macro-phénomènes émergeant de l'interaction d'un très grand nombre de microéléments, appelés *subsymbôles*, porteurs chacun d'une contribution représentationnelle "microscopique". En interagissant dans le cadre de la dynamique d'un réseau où elles se trouvent connectées, ces micro-unités se stabilisent au bout d'un certain temps, et forment des groupes, généralement constitués d'un grand nombre d'entre elles : l'observateur peut alors y reconnaître les "symboles" qu'une approche classique n'aurait pu

déterminer que de façon rudimentaire ; mais il les trouve cette fois dans une présentation numériquement exacte, décisive pour les processus, comme dans une certaine mesure pour l'interprétation qu'il souhaite en donner.

On peut effectivement reconnaître à ce programme une certaine réussite, dans le cadre des limites qu'il a fini par s'assigner lui-même : car loin de radicaliser ses intuitions initiales, il les a rapidement tempérées au contraire, en obtenant au passage des résultats qui ont fait date, et qui restent intéressants par les possibilités qu'ils ont ouvertes. Si le changement apporté ne pouvait suffire à ouvrir une perspective authentiquement génétique – pour autant qu'elle ait été souhaitée –, il n'en a pas moins été salubre : à travers lui, les sciences cognitives ont retrouvé un peu de pluralisme technique et épistémologique, après trente ans de domination d'une épistémologie entièrement fondée sur l'idée de système formel. Les modèles ont ainsi intégré des influences contextuelles fines, mis en scène des unités en détermination réciproque, implémenté des régularités de type statistique (et non combinatoire ou logique), construit automatiquement des prototypes, supporté des espaces continus de représentations, présenté des réponses graduelles aussi bien que des changements discontinus, etc. On a aussi appris à classer, par analyse de données, les représentations nouvelles que les algorithmes d'apprentissage faisaient apparaître dans les couches intérieures des réseaux, et retrouvé dans certaines dimensions pertinentes de ces classements, les traits syntaxico-sémantiques familiers des approches classiques.

Tous ces succès sont indéniables ; on ne peut dire pourtant qu'ils soient venus appuyer la construction de théories psychologiques ou linguistiques à la fois nouvelles et fidèles aux perspectives génétiques du début<sup>27</sup>. L'occasion de renouer avec d'anciennes problématiques de la psychologie, comme celles du courant gestaltiste, a été également manquée, en dépit de certaines affinités évidentes : interactions local/global, opposition micro/macro, substrats en partie continus, formalismes inspirés de la physique et non de la logique, mise au premier plan de mécanismes de type perceptif, etc. La caractérisation topologique des structures a certainement progressé, mais non véritablement leur constitution dynamique : le temps formel qui commande l'évolution des modèles n'est là que pour mener à un équilibre, en lequel se concentre tout le " résultat " cherché ; il n'ouvre pas sur une synthèse temporelle de représentations, où les délais, les vitesses, les étapes de la convergence, ou d'éventuelles oscillations, deviendraient significatives. Malgré l'introduction de divers expédients techniques, le problème de la délimitation des macro-constituants n'a jamais été convenablement éclairci dans un cadre qui soit authentiquement dynamique ; et du reste on tentait de le résoudre en revenant à la conception antérieure : comme si, finalement, le principal effet d'émergence recherché consistait à relier, après les avoir distingués, un premier niveau connexionniste de micro-assemblage à un autre, classique, de macro-assemblage, seul capable de rendre compte de la phénoménologie du domaine de référence. L'opposition micro/macro, capitale pour l'apparition et la superposition de plusieurs niveaux d'organisation sur un même substrat, n'a pas été vraiment exploitée, les modèles théoriques des physiciens se révélant difficiles à mettre en œuvre ici. Par force, les modèles sont restés parcimonieux, et leurs unités d'entrée et de sortie ont été dotées d'un sens prédéfini, qui en faisait de classiques microtraits, des microprimitives à la signification fixe – et du reste assez peu " microscopique " . On peut donc dire que la psychologie du courant *PDP* est restée élémentariste, même s'il s'est agi dans son cas d'un micro-élémentarisme, qui entendait reconstruire les structures perceptives ou conceptuelles comme des ensembles formés d'un très grand nombre de micro-éléments.

### 3.2 L'émergence des fonctions symboliques

On en conclura que le mouvement *PDP* n'a produit qu'un cognitivisme réformé, ce qui n'est déjà pas si mal. L'interaction annoncée entre action, perception, et représentation n'a finalement pas eu lieu : comment était-ce possible, d'ailleurs, sans se donner un environnement effectif, en même temps qu'une *théorie du champ* de l'activité modélisée ?

Le cognitivisme classique faisait de la connaissance la possession préalable d'une représentation, et par conséquent se proposait de mettre en évidence toutes les conditions d'une reconnaissance par copie conforme. Le cognitivisme réformé a su mettre un peu de synthèse "créative" dans cette reconnaissance ; dans la mesure où il renonçait aux types formels prédéfinis, il a ouvert un écart intéressant entre le potentiel stocké dans les systèmes, et les formes qui s'y actualisent. Il n'a pas révolutionné le concept de représentation, encore moins esquissé une problématique non-représentationnaliste de la cognition (ce n'était pas son but). Mais il a au moins établi le *contexte* comme part inhérente des mécanismes représentationnels qu'il modélisait, en assumant leur dépendance constante vis-à-vis des tâches, des architectures, et des aléas de l'apprentissage. Il a également motivé des travaux, en IA ou en robotique théorique, qui se proposaient de compléter le dispositif, en prenant véritablement en compte l'interaction perceptive et motrice avec un environnement.

En fait, plus profondément, la question que ces travaux entendaient éclairer était celle de l'émergence du symbolique, dans l'ontogenèse et à travers la phylogenèse<sup>28</sup>. L'image du symbolique qui était quasiment tenue pour acquise était, selon les chercheurs, tantôt celle du cognitivisme orthodoxe, tantôt sa rivale du cognitivisme réformé. L'activité symbolique, ses différents modes, sa nature collective, sa relation peut-être essentielle à un proto-langage, voire aux langues elles-mêmes : tous ses problèmes paraissaient secondaires dès le moment où l'on croyait tenir, avec les symboles *internes* des cognitivismes, la base "mentale" des capacités dont on cherchait à mettre en scène l'apparition. On pensait ainsi attaquer le problème par ce qui était généralement considéré comme sa première étape cruciale : "l'ancrage du symbolique dans la perception". Il était en effet question d'ancrer (c'était le terme consacré) les structures symboliques pré-citées dans les processus perceptifs eux-mêmes, via des processus de catégorisations progressives ("émergentes"), infléchis par des mécanismes de renforcement analogues à ceux du conditionnement animal. Un symbole serait alors, en première approximation, une unité intérieure déclenchée par une classe de percepts qu'elle classe (proie, prédateur, chemin, obstacle), pour contribuer ensuite à une réponse motrice appropriée. Une fois cette première couche symbolique édifiée, il serait peut-être possible d'y appuyer des catégorisations d'ordre supérieur, et voir émerger une syntaxe permettant d'engendrer des conduites plus sophistiquées (*via* des structures symboliques complexes).

Une évaluation détaillée de ces recherches sur l'émergence du symbolique n'entre pas dans notre propos. Nous dirons simplement qu'elles ont représenté, telles que nous les avons évoquées, une phase aujourd'hui révolue, où s'exprimaient plus librement qu'aujourd'hui une impatience et une démesure dans le propos, qu'on peut trouver à la fois fort sympathiques et tout à fait exaspérantes. Bien évidemment, ces préoccupations trouvent toujours un écho, voire se continuent dans certains travaux actuels : *Animats*, modèles d'éco-systèmes, recherches sur l'origine et l'évolution du langage et des langues. Leur caractère spéculatif est plus facilement reconnu quand il doit l'être : il s'agit alors d'épistémologie expérimentale, c'est-à-dire d'une recherche sur le potentiel *a priori* d'un dispositif théorique, et non d'une modélisation à portée empirique de phénomènes naturels ou artificiels. On vise dans ce cas une simple exploration du possible, la validation d'une cohérence conceptuelle, parfois une large conformité à certaines traces empiriques déjà interprétées par la paléontologie, l'éthologie, etc. Mais il ne s'agit pas alors de la détermination effective et nécessaire des causes d'une émergence. Par ailleurs, la préoccupation initiale pour le "symbolique", conçu comme une représentation interne, a quelque peu faibli. Des manifestes anti-représentationnalistes fort bien écrits, comme ceux de R. Brooks, ont rencontré un certain succès au début des années 1990, et déstabilisé sur ce terrain les cognitivismes naguère triomphants. La problématique émergentiste s'est en même temps infléchie et affinée : construction d'invariants sensori-moteurs et catégorisation, complexification des notions de renforcement et de *fitness*, importance des constructions externes (nids, chemins), marquage et organisation des territoires, effet décisif des interactions collectives, émergence d'une activité *sémiotique* externe (et non plus

symbolique interne). On tend plutôt à gagner un niveau qu'on pourrait qualifier de *catégorial*, sans préjuger de sa nature symbolique ou représentationnelle, individuelle ou sociale : c'est-à-dire qu'on cherche à mettre en place une perception et des interactions collectives intégrant d'emblée formes et valeurs, comprenant des modulations attentionnelles (base d'une distinction entre essentiel et accessoire), articulées à des schèmes d'actions transposables (et pas seulement à des programmes sensori-moteurs), liées à une imagination (recombinaisons spontanées de formes), progressant par prises d'initiative, permettant la poursuite intégrée de plusieurs "projets", la généralisation et la particularisation, etc.

Le dynamisme de ces recherches n'est donc pas entravé par la venue d'une certaine sagesse. Mais pour ce qui concerne le thème du symbolique, cela semble dû à une série bienheureuse d'échecs formateurs, plutôt qu'à d'authentiques progrès dans les problématiques. Une problématique scientifique de l'émergence peut-elle vraiment s'attaquer au monde du symbolique, de *l'activité* symbolique, sans reconnaître au préalable qu'il ne s'agit pas d'une simple organisation de signaux, ou même de signes, si l'on entend par là des événements, internes ou externes, toujours asservis à la situation présente, à l'utilité communicationnelle du moment? La solidarité entre monde symbolique et monde sémiotique, c'est-à-dire ultimement pour les humains la solidarité entre activité symbolique et activité de langage (au sens le plus extériorisé, le plus pratique et technique du terme *activité*), a initialement été ignorée, ou reléguée au second plan, dans les recherches émergentistes. On a pensé ancrer le symbolique dans la perception, sans pour autant sémiotiser et socialiser la perception elle-même.

Par principe, les problématiques émergentistes entendaient comprendre toute l'importance fonctionnelle de la *nouveauté*, et au-delà celle de la *variabilité*, considérée comme intrinsèque aux systèmes étudiés. Pourtant, elles n'ont pas vraiment réfléchi aux façons spécifiques dont les systèmes symboliques conjurent et consacrent l'innovation. Or, dans ces systèmes, toute variation engage la question d'un statut, lui-même symbolique, à trouver pour la différence qu'elle apporte. Il en résulte la banalité fondamentale, évidente dans le cas des langues, que "mémoire" et "innovation" ne prennent valeur que dans la *reformulation* toujours possible de leur écart : peu importe que ce soit dans l'accord ou dans la rupture, du moment que l'on puisse *reformuler*, et confirmer (ou infirmer) *de ce fait* la conformité à ce qui est déjà institué – sans avoir pour cela à passer par la forme d'un jugement d'admissibilité. Par ailleurs, la polysémie des unités linguistiques, prise comme étalon, semble bien indiquer que la différenciation et le glissement perpétuels, font partie, tout autant que la fixation, du régime *synchronique* de base de toute forme symbolique<sup>29</sup>. Des organisations sociales explicitement dédiées, avec l'instance de lois évaluatrices (qu'il faudra encore et toujours interpréter – phénomène apparemment absent chez les autres primates), semblent alors nécessaires à la conservation et à la transmission des innovations symboliques, de façon à ce qu'elles puissent participer, pour chacun, et au travers d'une infinité d'épisodes ultérieurs, à la synthèse d'une expérience à la fois intime et partageable, rapportable comme telle (et consciemment) à une norme sociale<sup>30</sup>.

On se demandera donc quelles sont les expériences de modélisation qui pourraient vraiment être tenues pour un enrichissement de questions pareilles. On rappellera aussi qu'il en va pour ce problème d'émergence comme pour n'importe quel autre : il n'est pas interdit de simplifier (!), mais la simplification devrait affecter également, ou du moins prendre également en considération, tous les éléments-clés du dispositif initial, qu'il faut pré-construire de façon cohérente et intéressante. Combien de travaux sur l'émergence du symbolique se sont-ils réellement affrontés à cette recherche, pourtant inséparable de celle d'un effet d'émergence? L'ancienne leçon gestaltiste reste toujours valable : pas d'organisation sans pré-organisation! À cela nous ajouterons : pas d'émergence sans un cadre *théorique* dynamiciste et constructiviste, qui conditionne ses objets, ses objectifs, et ses stades. Même si les auteurs qui élaborent ces nouveaux cadres ne les qualifient pas toujours eux-mêmes de constructivistes (génétiques), les affinités nous semblent évidentes :

citons par exemple l'ouvrage collectif *Rethinking Innateness*, qui reprend la question du développement dans une perspective connexionniste différente (Elman et al., 1996) ; certains travaux en épistémologie de la biologie et en biologie théorique, en rapport avec les sciences cognitives (Stewart, réf. citées ; Stewart et al., 1997) ; en sciences du langage, certains modèles de polysémie et de construction dynamique du sens (Victorri 1996, 1997) ; plus récemment, d'autres travaux (non modélisés) sur la théorie des formes sémantiques (Cadiot & Visetti, réf. citées) ; à citer également, les modèles comme ceux de J. Petitot, qui mettent en œuvre, entre grammaire et image, une conception à la fois fonctionnaliste et dynamique des processus symboliques, qui n'est pas sans relation avec les constructivismes génétiques évoqués ici ; plus généralement d'autres recherches, qui entendent naturaliser la phénoménologie de Husserl, en reconstruisant scientifiquement les parcours de la *constitution* phénoménologique (jusqu'à l'auto-constitution du temps propre)<sup>31</sup> ; dans un tout autre registre, les travaux en économie cognitive, sur la question des monnaies, des institutions, qui passent souvent par la confection de modèles du type 'systèmes complexes', etc.

#### 4. Questions diverses

Au risque d'une certaine redondance, nous consignerons pour finir quelques remarques supplémentaires sur certains des points déjà abordés. Elles prendront la forme d'une série d'affirmations ou de postulats, livrés ici pour mémoire et sans plus de justifications.

##### 4.1 Gestalt et émergence des unités

La notion de niveau d'organisation, omniprésente dans les problématiques émergentistes, doit être critiquée pour son préjugé discrétisant et hiérarchisant, particulièrement évident dans ses traductions architecturales (on va de la périphérie à un centre mythique, comme si on allait du bas vers le haut, et du simple au complexe). On est souvent parti, pour la définir, d'un concept non gestaltiste de l'organisation. Mais si l'on se réapproprie véritablement l'héritage gestaltiste, le concept de forme (variante phénoménologique de celui d'organisation) apparaît comme une composante inhérente de celui d'émergence : d'une certaine façon, tout se passe comme si la problématique de l'émergence, grâce à la modélisation, cherchait à prolonger vers de nouveaux domaines, et à d'autres échelles temporelles, l'effort théorique et descriptif des gestaltistes, en l'enrichissant d'une dynamique ou génétique appropriée. A partir de là, on critiquera l'idée de constituer un niveau à partir de composants primitifs définitivement individués, préexistants à leur mise en relation, et catégorisés en types conditionnant strictement leur " assemblage " . Comme l'ont montré de façon spectaculaire les expériences d'adaptation au port de lunettes prismatiques, et plus récemment les expériences de substitution sensori-motrice de P. Bach-y-Rita, un niveau d'organisation perceptive (si tant est que ce concept de niveau fasse sens ici) ne pourrait être fait de segmentations et de structurations décidées une fois pour toutes, mais consisterait d'abord et tout au contraire, en une capacité toujours renouvelable de segmenter, de " morphologiser " un champ global d'action et de perception<sup>32</sup>. D'une certaine manière, la seule primitive gestaltiste, c'est la totalité du champ : le problème de la forme, de ce point de vue, est celui de l'organisation du champ global, de son articulation intérieure, avant d'être celui d'une reconstruction par composition de parties préalablement identifiées. Il ne faut pas se méprendre, non plus, sur la notion de primitive, si utile qu'elle puisse être parfois. Le champ où l'observateur reconstruit les émergences, tout comme celui où le sujet construit sa perception, est structuré par des échelles qui prédéterminent les modifications perçues, les contrastes significatifs : la réception est immédiatement une interprétation, et il est bien difficile d'isoler des composants primitifs, *déjà significatifs*, qui précéderaient la globalité du système, et l'expliqueraient du dehors. A cela s'ajoutent les considérations habituelles de causalité circulaire inter-niveaux : les niveaux les plus " bas " ne valent que

par l'encadrement fourni en permanence par des niveaux placés plus "hauts", qui contribuent par exemple à la sélection active de ce qui parvient aux bas niveaux. Pourtant l'explication par assemblage se trouve souvent contrainte de les construire en succession (le constructivisme génétique n'est d'ailleurs pas tellement plus à l'aise sur ces points, même si, à la métaphore architecturale des niveaux, il substitue la notion temporelle de stade, qui évoque un ordre fonctionnellement nécessaire dans les stabilisations).

## 4.2 Gestalt et champ

Toujours est-il que la mise en place d'un concept à la fois précisé et généralisé de Gestalt s'impose comme un enjeu capital pour les problématiques qui nous intéressent ici. Il semble qu'il doive comporter au moins les aspects suivants :

- rapports tous-parties : synthèses par détermination réciproque, interactions quantités-qualités ;
- modulations continues des formes, en même temps que délimitations par discontinuités ;
- organisation par figures se détachant sur un fond ;
- présence d'un champ ou substrat comme détermination essentielle ; caractère "physique" de ce substrat ;
- temps interne à la forme (intégration, stabilisation, présentation par enchaînement d'esquisses) impliquant une structure non ponctuelle du Présent abritant cette forme (donc un Présent "épais" ) ;
- caractère transposable des formes : elles sont le produit de schèmes dynamiques relationnels capables par constitution d'opérer dans une variété indéfinie de milieux (en subissant à chaque fois des contraintes spécifiques) ;
- type des unités : pas de *type* formel assurant la duplication des *occurrences*, mais un rapport schème/instance, respectant l'écart potentiel/actuel. Evolution du potentiel à la faveur de ses actualisations (c'est l'apport capital des modèles adaptatifs : la forme de l'a priori attribué au système peut dériver, et l'a priori scientifique, de son côté, consiste dans le schème de cette possible dérive).

Le problème fondamental pour une modélisation gestaltiste des formes est celui de la *genèse des unités* dans un champ. Stabilisation, cohérence, délimitation par repérages de discontinuités (plus généralement de singularités), sont ici des notions-clés, qui renvoient inévitablement à leurs corrélats mathématiques. Tout devrait en principe commencer par une théorie du champ, de façon à ce qu'aucune unité ne soit "primitive", au sens de non-construite. Nécessairement, les points ou éléments composant le champ n'apporteront qu'une contribution infinitésimale aux unités régionales qui les englobent : et c'est bien le cas dans les espaces continus des systèmes dynamiques, ou dans les modèles de physique statistique, où l'opposition micro/macro, et les changements de *type transition de phase*, reposent sur un passage idéal à la limite thermodynamique (c'est-à-dire sur un ensemble infini d'éléments de base). Allons même plus loin : les points, ou éléments, n'ont pas l'individualité que la reconstruction physico-mathématique semble leur conférer, puisqu'ils ne tiennent leur existence, et leur fonction, que du champ pris dans son entier<sup>33</sup>.

Dans le cas où une telle théorie du champ s'avère impossible, la procédure explicative sera par force différente. On recherchera des Gestalts ou des formes schématiques "fortes", c'est-à-dire des schèmes d'unités transposables à travers un grand nombre de contextes, où se manifeste leur potentiel de variation. Les schèmes ne sont donc pas exactement des formes stables, ce sont plutôt des germes à l'instabilité limitée, dont on connaît par avance les dimensions principales de déformation. On les représentera par exemple comme des systèmes dynamiques paramétrables, opérant sur des espaces codant ces dimensions principales ; ces schèmes locaux seront susceptibles de se coupler entre eux, ainsi qu'à d'autres schèmes codant des caractéristiques non régionales du champ, pour construire des dynamiques globales sur le produit de tous les espaces impliqués. On

applique ainsi un principe de détermination réciproque entre unités, dans la mesure où les schémas donnés au départ se spécifient progressivement par couplage, en même temps que se construit l'ensemble où ils s'articulent. Ce processus réalise une forme de *compositionnalité gestaltiste*, qui peut valoir comme une première approximation intéressante : en linguistique, par exemple, à défaut de disposer d'une théorie générale du champ, on modélisera mots et schémas de construction comme nous venons de le dire, pour reconstruire par couplage la structure sémantique des phrases<sup>34</sup>.

Il faut enfin souligner que, même si la genèse des unités dans le champ considéré était réputée comprise, il resterait encore à élucider la genèse du champ lui-même, c'est à dire sa perpétuelle reproduction. Une problématique constructiviste en fait bien le substrat dont les lois propres conditionnent l'émergence des formes, mais ce substrat, qui l'engendre à son tour ? Il s'agit là probablement d'une limite de la problématique historiquement léguée par les écoles gestaltistes. La construction du champ, son auto-reproduction permanente sont le fait d'un organisme en renouvellement perpétuel, un organisme agissant, et en prise permanente sur un environnement. Le champ des gestaltistes paraît être un fond immuable, mais il renaît en permanence à partir de cette activité. Et de même pour l'individuation du système entier : elle suppose un "métabolisme", donc des échanges constants, des fluctuations dans la composition du substrat, qui interdisent en théorie de le représenter comme un espace interne aux dimensions bien arrêtées.

Si donc le champ n'est pas un état initial contingent, dont la modélisation n'aurait pas à rendre compte, mais un fond permanent et vital pour une dynamique d'individuation (qui l'entretient en partie), la tâche d'un constructivisme radical devrait être de partir d'un substrat global, où se différencieraient en permanence système et monde propre, intérieur et extérieur du champ ; la schématisation de cette "interface" constitutive devrait être son premier travail... Difficulté immense, ou plutôt horizon utopique, qui éclaire la portée effective des modélisations<sup>35</sup>.

### 4.3 Fonctionnement et irréversibilité

Une fois l'émergence rattachée au concept gestaltiste de forme ou d'organisation, les critères de son authentification à partir de questions du type " y a-t-il de nouvelles primitives, de nouveaux opérateurs ? " ne sont plus aussi décisifs : car c'est l'ordinaire d'une organisation formatrice de Gestalts que d'entrer dans ce genre de scénarios créatifs (comme d'ailleurs la modélisation par systèmes dynamiques permet de le penser jusqu'à un certain point à partir du concept de *bifurcation*). On formulerait donc plutôt la question de la nouveauté en termes de *facteurs d'organisation* : " y a-t-il de nouveaux facteurs d'organisation ? " deviendrait alors la question-clé. Mais le critère de l'irréversibilité semble fonder des lignes de partage plus sûres. Il importerait alors davantage, pour le repérage des émergences, qu'un monde, un système, une intentionnalité, une forme de vie ou d'expérience soient détruits, ou du moins ne redeviennent accessibles qu'au prix d'une crise, d'une pathologie, d'une décomposition : l'irréversibilité devient alors un critère déterminant, et s'oppose en cela au fonctionnement (caractérisé par la réversibilité des transformations, l'immuabilité de certains cycles, la dimensionnalité constante de l'espace des interactions significatives entre le système et son monde)<sup>36</sup>. Même remarque du côté de l'observateur : la question est alors celle d'une rupture dans sa capacité de désirer, de s'engager, de percevoir, d'agir, de penser, etc. Voilà ce que la modélisation devrait s'efforcer alors de mettre en scène : un champ d'évolution, et le passage *nécessaire* d'un mode d'observation à un autre.

Mais d'un autre côté le fonctionnement des " systèmes " vivants, en dépit de la réversibilité des configurations qui le caractérisent, suppose lui-aussi une émergence constante, qui est celle de l'autopoïèse ; il suppose aussi le recommencement perpétuel du monde qui la conditionne, et qu'elle agence en même temps ; il suppose enfin un horizon de

bifurcations possibles. Une problématique plus authentique de l'émergence, de ce point de vue, est celle qui réussirait à associer le problème des origines à celui du recommencement perpétuel, à accorder la même importance au changement brusque, à l'irréversibilité, d'une part, à la continuité, à la réversibilité, d'autre part. Cela suppose de ne plus approcher l'idée d'organisation à partir des seules idées de stabilité et de perturbation, trop simplement figurées par les dynamiques à points fixes qui sont restées, depuis leur introduction par les gestaltistes de l'école de Berlin (notamment Köhler), le principe de base de très nombreux travaux. S'il s'agit de modéliser à l'image du vivant, le fonctionnement le plus ordinaire devrait occuper des zones plus critiques, des régimes plus turbulents que ceux qui ont été principalement explorés jusqu'ici<sup>37</sup>.

#### 4.4 Les discours de l'émergence comme genres scientifiques

La problématique de l'émergence semble à première vue le cadre problématique physique, ou "comme-si" physique (physicaliste, dans un certain jargon contemporain), où se repense la question de l'interprétation, de son historicité, de ses modes ou genres hétérogènes. D'une certaine façon, cette problématique transpose au plan d'objectivités scientifiques naturalisées la structure des récits, notamment de ceux où se relatent des révolutions, des catastrophes, des déclin, des apocalypses, ou bien de ceux où s'affirment l'irréversible multiplicité, le discord des points de vue sur une histoire pourtant commune : c'est dire si l'ouverture du genre émergentiste est vaste, la plus vaste de toutes peut-être, une sorte d'archi-roman de formation. On y recherche des façons scientifiques de raconter la vie d'une Nature, en la présentant comme une extériorité matérielle autoproduisant son sens et ses non-sens, comme si aucun esprit, qui ne soit déjà part de cette nature, n'avait eu à les penser. Cette Nature scientifiquement décrite, encore physique mais en un sens élargi qui reste à construire, émergerait précisément de la rencontre des formes de vie ajustant indéfiniment leurs différences ; elle s'exprimerait dans le colloque incessant de ces bio-herméneutes s'entresémiotisant (!) les uns les autres par l'étroite fenêtre de leurs Présents. En bref, la montée des thèmes émergentistes est en même temps celle de nouveaux genres *à la fois narratifs et scientifiques*, qui viennent s'ajouter à ceux de l'astronomie, de la géologie, de la paléontologie, etc. Grâce à la modélisation, en particulier, des pratiques autrefois dénoncées comme purement spéculatives ou imaginaires ont rencontré un ordre de validité nouveau (il se peut que la modélisation n'intervienne pas directement, mais seulement indirectement, en consolidant par exemple une perspective intradisciplinaire, qui se transmet ensuite d'autant mieux à un cadre plus large où elle s'épanouit en théorie générale). La composition de récits, à la fois nécessaires et toujours susceptibles de variantes, qui soient plausibles et même modélisables, qui unifient les perspectives de plusieurs disciplines, et soient enfin emblématiques d'un effort de l'humanité de se comprendre elle-même, acquiert – ou retrouve – un statut *scientifique* éminent. Les problématiques de l'émergence mobilisent ainsi des jeux de langages que l'on peut penser *a priori* hétérogènes (langages physicalistes, fonctionnalistes, téléologiques, intentionnels, expérientiels...). Mais il n'est pas sûr qu'il faille toujours tenter de réduire cette hétérogénéité, puisque cela même qui est à expliquer, et l'idée même d'une explication, proviennent d'un "état" préalable et inéliminable de cette même hétérogénéité.

#### 4.5 Causalités, émergences et constructivismes

La section précédente pose, notamment, le problème de ce que nous pourrions appeler la *prétention causale* des reconstructions émergentistes, lorsqu'elles prennent la forme canoniques de modèles. En tout état de cause, il y a loin entre la plupart de ces modèles, et une reconstruction causale légitime. Déjà, l'extrême simplicité des dispositifs paraît à cela un argument suffisant. Mais c'est aussi que le vrai propos du travail est ailleurs dans bien des cas. Si, par exemple, dans certains modèles linguistiques, une "genèse" toute formelle reconstruit systématiquement les [valeurs des] unités recensées dans un corpus, et en fait

peut-être découvrir certaines de plus “ singulières ” que les autres, c’est d’abord en vue de retrouver, et classer d’une façon rationnelle, les principaux invariants et les principales variations observés, admissibles, ou imaginables. Dans ces modèles, le temps des dynamiques de “ construction du sens ” ne renvoie pas à un processus psychologique avéré : il représente d’abord le temps d’une prise d’effet, d’une détermination mutuelle progressive, des différents aspects de ces analyses systémiques. C’est le temps d’une herméneutique rationnelle, qui cherche à matérialiser, en effet, sa propre progression, son mouvement d’auto-confirimation. Les stabilisations sur des attracteurs en sont des moments privilégiés, correspondant à un équilibre atteint dans la pesée réciproque de tous les facteurs. Cela n’exclut pas, bien sûr, qu’une part de cette temporalité s’aligne sur celle d’une causalité parallèle (convenant, par exemple, à un modèle de neurosciences). Mais cette homologation signifie essentiellement délégation au temps physique, et localisation dans des dispositifs matériels, d’un flux d’interprétation *qui ne fait que passer par là*, dans la mesure où il s’appuie aussi, de façon essentielle, à des règles et à des concepts qui ne relèvent pas d’une légalité scientifique de type physique. Et, comme nous l’avons déjà indiqué, il semble que cette hétérogénéité des registres herméneutiques soit plus facile à reconnaître dans le cadre d’un constructivisme génétique. Les constructivismes assembleurs, en effet, semblent davantage portés au réalisme, et tendent par exemple à considérer l’informatique, non sous l’angle sémiotique d’un jeu d’écritures, mais d’abord comme une réplique réaliste de ce qui est modélisé, comme le *tenant lieu* par excellence de tout processus *réel* et *calculable* – processus qui est alors considéré comme une *instanciation de calcul*, que ce soit dans la nature, ou dans l’esprit. Le parangon de la causalité ne se trouve plus dans le choc, la poussée, ou la force exercée à distance, mais dans le pas élémentaire de calcul.

Or, dans bien des cas, un tel “ réalisme ” de l’interprétation n’est pas de mise. Il semble que l’émergence modélisée reflète plutôt un *a priori* de notre compréhension par *participation réciproque* de différents “ aspects ”, considérés comme parties prenantes de notre saisie du phénomène étudié. Il arrive bien sûr – et c’est à ce titre qu’ils sont sélectionnés – que tel ou tel de ces “ aspects ” soit valorisé dans certaines conditions, ou dans certaines phases, où il apparaît alors comme une “ clé ” exclusive pour l’ensemble, ou bien comme une “ composante ” bien localisée. On pourrait peut-être souhaiter alors que ces temps herméneutiquement forts se traduisent aussi plus clairement dans un temps physique ou cosmique. Mais ce n’est que rarement le cas. Et quand cela semblera le cas, on y verra d’abord l’effet d’un parallélisme superficiel, et non celui d’une détermination causale : car les conditions sont très rarement réunies pour une identification matérielle de “ parties ”, de “ propriétés ”, de “ connexions ”, ou même de “ caractéristiques dynamiques ”, qui soient en même temps *directement assignables sur le plan du sens* – un préalable nécessaire, pourtant, pour une analyse qui se voudrait causale, et susceptible de présenter de l’intérêt dans ces domaines.

Si l’on voulait pourtant maintenir une perspective causale pour penser le rapport entre la *conceptualité* physique, et les modélisations constructivistes et émergentistes des sciences cognitives et sociales, il faudrait plutôt le faire en réaménageant la notion aristotélicienne de *causalité formelle*, pour l’inscrire dans les cadres physico-mathématiques et informatiques contemporains. Ce qu’un modèle détermine alors, ce n’est pas tant un enchaînement de causes et d’effets, qu’un système de *formes* et de *transformations* virtuelles, dont seules certaines pourront être actualisées (par ex., selon le critère qu’elles sont les seules à pouvoir se stabiliser). Le temps des processus permettant de décliner ces transformations peut bien s’homologuer en certains points à celui de la physique (ou de l’histoire) : mais il ne faut pas y voir le signe d’une détermination causale “ effective ” ou “ efficace ”, seulement celui d’un repérage du possible ou de l’impossible, dans une certaine phase qui se trouve *indexée* – et non pas réduite ou identifiée – par des paramètres spatio-temporels<sup>38</sup>.

## Conclusion

Quant à la rivalité entre les deux ordres constructivistes – assembleur et génétique – nous voudrions suggérer en manière de conclusion qu'elle semble être au premier abord une rivalité de type dialectique. Chacun se nourrit des progrès de l'autre, mais sans parvenir à l'absorber. Toutefois, pour nous et très subjectivement, ce schéma dialectique n'épuise pas la question. Car le progrès, sinon la progression, ne consiste pas ici en un dépassement de l'un par l'autre, mais se trouve dans l'approfondissement de leur différend, comme dans celui de leur dépendance mutuelle. Or, c'est le constructivisme génétique qui, des deux, nous semble être le gardien de ce différend, et celui qui comprend le mieux sa dépendance vis-à-vis de l'autre. Ses liens avec la philosophie d'inspiration phénoménologique et herméneutique, dont il n'est finalement qu'une version naturalisée, lui évitent certaines naïvetés, lui donnent davantage d'ouverture et de précision dans ses stratégies interprétatives. Pour ces raisons, nous lui avons donné l'avantage au moment de déterminer le sens *scientifique* des travaux constructivistes.

## Références bibliographiques

- Actes des séminaires de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications* (1992, 1993) sur " L'émergence et la formation des symboles dans les modèles de la cognition ".
- Amit D. (1989). *Modeling Brain Function, the World of Attractor Neural Networks*, Cambridge Univ. Press.
- Anderson J. Pellionisz A. Rosenfeld E., (éds) (1990). *Neurocomputing 2 : Directions for research*, MIT Press.
- Anderson J. Rosenfeld E. (éds) (1988). *Neurocomputing : Foundations for research*, MIT Press.
- Bailly F. (1991a). L'anneau des disciplines. *Revue Internationale de Systémique*, vol. 5, 3, p. 235-399.
- Bailly F. (1991b). Niveaux d'organisation, changements de niveaux, finalité. *Philosophica* 47, 1, p. 31-47.
- Bechtel, W., Abrahamsen, A. (1993). *Le connexionnisme et l'esprit*. Paris, La Découverte.
- Bergé, P., Pomeau, Y., Vidal, C. (1984), L'ordre dans le chaos – vers une approche déterministe de la turbulence. Paris, Hermann.
- Bonabeau E. Dessalles J.L., Grumbach A. (1995). Characterizing emergent phenomena, 1 et 2. *Revue Internationale de Systémique*, vol. 9, 3, p. 327-371.
- Brassac, C. (2002). *Un dialogisme de l'effectué. Vers une approche constructiviste en psychologie interactionniste*. Manuscrit non publié, 185 p. Introduction disponible sur le site [www.formes-symboliques.org](http://www.formes-symboliques.org) (janvier 2004).
- Brooks R. (1991). Intelligence without representation, *Artificial Intelligence*, 47, p. 139-159.
- Cadiot, P. (2003). Du lexème au proverbe : pour une sémantique anti-représentationnaliste, in *Variation, construction, et instrumentation du sens* (M. Siksou, ed.), p. 25-46. Hermes Sciences, Lavoisier, Paris.
- Cadiot, P., Visetti, Y.M. (2001), *Pour une théorie des formes sémantiques – motifs, profils, thèmes*. Paris, Presses universitaires de France.
- Cadiot, P., Visetti, Y.M. (2001), Motifs, profils, thèmes: une approche globale de la polysémie, *Cahiers de Lexicologie*, 79, 2001-2, p. 5-46.
- Cahiers du CREA* (1985, 1986). Histoires de cybernétique, 7. Généalogies de l'auto-organisation, 8. Cognition et complexité, 9.
- Dahan-Dolmenico A. Chabert J.-L. Chemla K. (éds.) (1992). *Chaos et déterminisme*, Paris, Seuil, Points Sciences.
- Dessalles J.-L. (1996). *L'ordinateur génétique*. Hermès, Paris.
- Dessalles J.-L. 2000. *Aux origines du langage. Une histoire naturelle de la parole*. Paris, Hermès.
- Dupuy J.P. (1994). *Aux origines des sciences cognitives*. Paris, La Découverte.
- Elman J. Bates E. Johnson M. Karmiloff-Smith A. Parisi D. Plunkett K. (1996). *Rethinking innateness. A connectionist perspective on Development*. A Bradford Book, MIT Press.

- Fodor J. Pylyshyn Z. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis, *Cognition* 28.
- Guillaume P. (1979-1937). *La psychologie de la forme*. Réédition dans la collection Champs, Paris, Flammarion.
- Intellectica*, différents numéros à thème de la revue, parmi lesquels : 1990 sur les Modèles connexionnistes (sous la dir. de D. Memmi et Y.M. Visetti) ; 1993, sur Biologie et cognition (sous la dir. de J. Stewart) ; 1994, sur les Organisations émergentes dans les populations (sous la dir. de C. Lenay) ; 1998, sur Émergence et explication (sous la dir. de G. Vandevijver) ; 1998, sur la Gestalt (sous la dir. de R. Casati).
- Kanizsa G. (1979). *Organization in Vision*. New-York, Harcourt Brace.
- Kanizsa G. (1980). *Grammatica del Vedere*. Bologna, Il Mulino. Traduit par A. Chambolle, *La Grammaire du Voir*, Paris, Diderot, 1997.
- Koffka, K. (1924). *The Growth of Mind*. London: Routledge & Kegan Paul Ltd..
- Koffka K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. New-York, Harcourt Brace.
- Köhler W. (1964). *Psychologie de la forme* (1929), traduit par S. Bricianer. Paris, Gallimard.
- Köhler W. (1971). *Selected Papers* (éd. Mary Henle). New-York, Liveright.
- Langton C.G. et al. (éds.) (1992). *Artificial Life II*, Proceedings of the Workshop on Artificial Life (1990, Santa Fe). New Mexico, Addison-Wesley [cf. aussi les volumes suivants de la série].
- La Recherche* (1998). *L'origine des formes*, numéro spécial, 305.
- Lassègue J. (1998). *Turing*, Paris, Les Belles Lettres.
- Le Moigne, J.L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Lenay, C., Sebbah, F.-D. (2001). La constitution de la perception spatiale. Approche phénoménologique et expérimentale. *Intellectica*, 2001/1, p. 45-85.
- Longo, G. (2002). Laplace, Turing, et le 'jeu de l'imitation', *Intellectica*, 2, p. 131-161. Avec les commentaires et les réponses de l'auteur, p. 163-215.
- Maturana H. Varela F. (1994). *L'Arbre de la Connaissance*, traduit de l'américain par F.C. Jullien. Paris, Addison-Wesley.
- McClelland J. Rumelhart D. (1986). *Parallel Distributed Processing: The Microstructure of Cognition*, vol. 1 et 2, MIT Press.
- Peretto, P. (1992). *An Introduction to the Modeling of Neural networks*. Aléa, Saclay, Cambridge University press.
- Petitot J., Varela F., Pachoud B., Roy J.M. (1999). *Naturalizing Phenomenology. Issues in contemporary phenomenology and cognitive science*. Stanford University Press. Edition française 2002, CNRS Editions.
- Petitot J. (1992). *Physique du Sens*, Editions du CNRS, Paris.
- Petitot J. (1993). Phénoménologie naturalisée : la fonction cognitive du synthétique *a priori*, *Intellectica*, 17, numéro spécial *Philosophies et sciences cognitives*, sous la dir. de J.M. Salanskis.
- Petitot J. (1996). Morphodynamics and Attractor Syntax, in *Mind as Motion* (T. van Gelder, R. Port éds), MIT Press.
- Petitot, J. (2001). Complexité neurodynamique en sciences cognitives. Rapports et documents du CREA, 0101.
- Petitot, J., Tondut, Y. (1999). Vers une neurogéométrie. Fibrations corticales, structures de contact et contours subjectifs modaux. Numéro spécial de *Mathématiques, Informatique et sciences humaines*, 145, 5-101, EHESS, Paris.
- Pomian K. (éd.) (1990). *La querelle du déterminisme*, Paris, Gallimard, Le Débat.
- Proust J. (éd.) (1997). *Perception et intermodalité*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Rosenthal V. (1993). Cognition, vie et...temps, *Intellectica* 16, p. 175-207.
- Rosenthal, V. (2003). Microgenesis, immediate experience and visual processes in reading. A paraître dans *Seeing, Thinking, and Knowing*, A. Carsetti (ed.), Kluwer.
- Rosenthal, V., Visetti, Y.M. (1999), Sens et temps de la Gestalt, *Intellectica*, 28, p. 147-227.
- Rosenthal, V., Visetti, Y.M. (2003), *Köhler*. Paris, Les Belles Lettres.
- Salanskis, J.M. (1999). *Le constructivisme non standard*. Lille, Presses Universitaires du Septentrion.
- Salanskis J.M. Rastier F. Scheps R. (Eds.) (1997). *Herméneutique : textes, sciences*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Smith B. (1988). Gestalt theory: An Essay in Philosophy. In *Foundations of Gestalt Theory*

- (éd. B. Smith), München, Philosophia Verlag.
- Smolensky P. (1988). On the proper treatment of connectionism, suivi de la réponse de l'auteur aux commentaires, *The Behavioral and Brain Sciences* 11.
- Smolensky, P., Legendre, G. (2004) (à paraître). *The Harmonic Mind*. vol. I et II. MIT Press.
- Stewart, J (1993) (Ed.) *Biologie et cognition*. Numéro spécial, *Intellectica* , 1993/1.
- Stewart J. (2000). From Autopoiesis to Semantic Closure. Dans : JLR Chandler & G. van der Vijver Eds, *Closure: Emergent Organizations and Their Dynamics*, pp 155-162, Vol. 901, Annals of the New York Academy of Sciences.
- Stewart J. (2000). Radical Constructivism in Biology and Cognitive Science, *Foundations of Science* 6, 99-124
- Stewart J. (2001). Le sens biologique. Dans : D, Keller, JP. Durafour, JFP. Bonnot, R. Sock (Eds), *Percevoir : Monde et Langage*, pp 117-127. Mardaga, Sprimont.
- Stewart J. (2002). La modélisation en biologie. Dans : P. Nouvel (Ed), *Enquête sur le concept de modèle*, pp. 43-66. PUF, Paris.
- Stewart J. Scheps R. Clément P. (1997). Umwelt et interprétation ; suivi de : La phylogenèse de l'interprétation , in Salanskis et al. 1997, *Herméneutique : textes, sciences*, p. 209-252.
- Valsiner, J. (2000). *The social mind*. Cambridge University Press, New York.
- van Gelder, T., Port, R. (Eds.) (1996). *Mind as Motion*. Boston, MIT Press.
- Varela F. (1989). *Autonomie et connaissance – essai sur le Vivant*. Traduit par P. Bourguin. Paris, le Seuil.
- Victorri B. Fuchs C. (1996). *La polysémie : construction dynamique du sens*. Paris, Hermès.
- Victorri B. (1997). La polysémie : un artefact de la linguistique ?, *Revue de Sémantique et Pragmatique*, 2, p. 41-62.
- Visetti Y.M. (1994). Les modèles connexionnistes entre perception et sémantique. *Sémiotiques*, "Linguistique cognitive et modèles dynamiques" , numéro spécial dirigé par J. Petitot, 6-7, p. 15-48
- Visetti Y.M. (1995). Fonctionnalismes 1996, *Intellectica*, 21, dossier sur les Fonctionnalismes (sous la dir. de E. Pacherie), p. 282-311.
- Visetti, Y.-M. (2004). Language, Space and the theory of Semantic Forms. In A. Carsetti (Ed), *Seeing, Thinking and Knowing – Meaning and Self-Organisation in Vision and Thought*, p. 245-275. Kluwer.
- Visetti, Y.-M., Cadiot, P. (2002), Instability and Theory of Semantic Forms . Dans : S. Feigenbaum and D. Kurzon (Eds), *Prepositions in their syntactic, Semantic and Pragmatic Context*, p. 9-39. Amsterdam, John Benjamins.
- Weisbuch, G. (1989). *Dynamique des systèmes complexes*. Paris, InterEditions/Éditions du CNRS.

1-Dans le domaine logico-mathématique, l'intuitionnisme du mathématicien L.E.J. Brouwer est généralement considéré comme la forme première de l'exigence constructiviste. Contrairement à Hilbert, Brouwer ne la cantonne pas à la mise en place d'un jeu d'écritures formelles, finitiste, puis mécanisable : il cherche d'abord à la faire valoir au cœur de l'intuition des objets et des procédures eux-mêmes – limitant d'autant les formalismes appropriés. Pour un concept retravaillé “ d'objectivité mathématique constructive ”, et une présentation du courant de la mathématique dite *non-standard* dans cette perspective, on se reportera à l'ouvrage de J.M. Salanskis, 1999.

2 Cf. Maturana & Varela 1994 ; Varela 1996.

3 Explicitation qui en restera toutefois à un niveau très générique : celui où se formulent des paradigmes transversaux aux disciplines, et – restriction supplémentaire – en l'occurrence assez fortement conditionnés par une perspective de modélisation. Pour une vue d'ensemble sur les épistémologies constructivistes, on pourra consulter les ouvrages de J.L. Le Moigne (par ex. 1995). Pour une problématique constructiviste et interactionniste en psychologie, continuant celles de G.H. Mead, L. Vygotsky, I. Meyerson, J. Bruner, on se reportera aux travaux de C. Brassac (2002). Voir aussi J. Valsiner (2000).

4 Il paraît impossible de neutraliser ici complètement les traits téléologiques, praxiques, voire intentionnels, qui vont de pair avec le lexème français *construction*. A quelle instance – processuelle, vivante, spirituelle – attribuer alors ce *sens* d'un *faire*, avec un horizon d'*accomplissement* ? En devenant objet et norme de la science, la *construction* tend à voiler ces questions – en les rendant d'autant plus problématiques.

5 Nous renvoyons ici à l'exposé classique de P. Guillaume (1937) ; aux écrits de W. Köhler et K. Koffka ; à ceux plus récents de G. Kanizsa ; au panorama historique et philosophique de B. Smith (1988) ; à notre travail avec V. Rosenthal (1999, 2003), ainsi qu'à sa reconstruction des problématiques liées de la *microgenèse* (2003).

6 Sur les idées de Paul Weiss, et leur influence, on pourra se reporter au livre de J.-P. Dupuy, *Aux origines des sciences cognitives* (1994).

7 L'argumentation serait en gros la suivante : les holismes, qui affirment l'irréductibilité des perspectives globales, tendent à refuser la sectorisation des phénomènes ; ils s'opposent a fortiori à leur réduction en éléments ; de ce fait, ils compliquent terriblement la division du travail scientifique, et empêchent la mise au point d'un agenda des problèmes ; à la fin ils renoncent à expliquer, et se bornent à décrire.

8 Le terme de *système dynamique* désigne ici toute une variété de concepts physico-mathématiques : équations différentielles déterministes ou à paramètres aléatoires, équations différentielles stochastiques, équations aux dérivées partielles, processus stochastiques discrets (utilisés par exemple en physique statistique), etc. Soulignons que ces concepts ne sont pas seulement convoqués dans ce contexte pour recevoir une interprétation physicienne, ou plus généralement quantitative : ils servent dans la plupart des cas à construire des modèles *qualitatifs*, dont la composition mathématique permet toutefois de penser qu'ils pourraient ultérieurement s'articuler à des déterminations quantitatives empiriques. De plus, lorsqu'ils sont mathématiquement déterministes, cela ne signifie pas que l'ordre de phénomènes qu'ils servent à modéliser le soit de la même manière (cf. *infra*, la note 12 sur les déterminismes). Quant aux systèmes complexes, une série de progrès remarquables enregistrés sur les trois dernières décennies a conduit en effet des physiciens, des mathématiciens, des biologistes, des informaticiens, des modélisateurs en sciences cognitives et sociales, à poser les bases d'un cadre d'objectivation transversal à leurs diverses disciplines, et dans lequel les questions de stabilité et d'instabilité, d'invariant et de variation, de régulation et de viabilité peuvent être repensées, à défaut de pouvoir toujours donner lieu à modélisation effective. On se bornera ici à en énumérer les rubriques suivantes – étant entendu qu'aucun modèle ne peut prétendre à les regrouper toutes : repérages à plusieurs échelles spatiales et temporelles (en général deux échelles, micro- et macroscopiques) ; importance des caractéristiques topologiques, dynamiques, et statistiques ; déterminations réciproques du local et du global ; multiples dynamiques de formation des unités (fusions et dissociations ; coalitions et compétitions ; recrutement, dérecrutements ; croissances, décroissances ; morts et naissances) ; co-existence à tout moment de différentes “ phases ” dynamiques ; adaptation et régulation (préservation active du domaine de viabilité interne et externe) ; dérive structurelle par couplage avec un environnement propre (causalités dites “ circulaires ”) ; historicité et irréversibilité ; répertoires de comportements centrés sur des dynamiques instables constituant le noyau fonctionnel des systèmes. Avec ces recherches, les questions de formes et d'organisations peuvent se poser désormais sans plus se diviser entre leurs aspects individuels et collectifs, internes et externes, synchroniques et diachroniques. Mais dans la plupart des cas, les modèles reflètent encore mal la multiplicité et l'enchevêtrement des “ niveaux ”, des “ modes ”, ou des “ phases ” de l'organisation, qu'il semble nécessaire d'invoquer simultanément (cf. *infra*, et notamment tout ce qui a trait à l'autopoïèse).

9 Cette intervention “ au milieu ”, cette médiation de l'informatique, suppose de maîtriser un certain rapport dialectique entre constructivismes génétiques et assembleurs, notamment au moment de comprendre le statut des *éléments* invoqués par un modèle. Un constructivisme génétique radical s'opposera à tout *élémentarisme*, qui voudrait donner à ces éléments un statut absolu, indépendant d'une boucle globale de recrutement et/ou de constitution (point de vue ontologique), ou d'une boucle d'interprétation (point de vue herméneutique). Car les niveaux ontologiques pris pour ‘base’ sont *aussi* sous la dépendance des niveaux émergents qu'ils ont la tâche d'expliquer (au moins de supporter).

10 Un constructivisme génétique peut, et doit, introduire ce type de distinctions entre les structures mathématiques qu'il invoque, et les calculs-assemblages de l'informatique qui n'en déterminent que certains aspects, et toujours *via* un arrière-plan de construction et d'interprétation qui continue de relever d'une perspective génétique. Il est sans doute plus difficile à un constructivisme assembleur de faire place à ce type de hiatus entre les diverses structures intervenant dans la construction et l'interprétation de ses modèles. D'où la propension à les traiter toutes (et jusqu'aux 'réalités' représentées), comme des actualisations du même type structural, qui se trouverait déjà 'instancié' dans le phénomène original, avant que de l'être dans le phénomène informatique qui le modélise.

11 Sur la question du déterminisme laplacien, et sur la distinction entre déterminisme mathématique et déterminisme physique, on pourra consulter *La querelle du déterminisme* (dossier rassemblé par K. Pomian, 1990), et *Chaos et déterminisme* (édité par A. Dahan-Dalmedico, J.-L. Chabert, K. Chemla, 1992 ; avec notamment les contributions de G. Israël, p. 249-273, et A. Dahan, p. 371-406), Plus récemment, G. Longo a profondément argumenté la parenté épistémologique, déjà notée par Turing lui-même, entre le déterminisme laplacien et le déterminisme turingien (programmation des machines à états discrets). Par contraste, et pour souligner le besoin d'une autre épistémologie, appuyée à un autre type de modélisation, Longo commente l'existence, cruciale pour son propos, de systèmes dynamiques chaotiques dont aucun programme ne peut fournir des approximations discrètes de finesse arbitraire (sous la forme de processus opérant sur des "grilles" recouvrant l'espace), et cela quand bien même la programmation serait 'dopée' par l'adjonction de processus aléatoires. Il y a donc des organisations dynamiques qui ne se laissent pas réduire, même approximativement, à un mixte de programmation discrète et de hasard. Or, on le sait, une écrasante majorité de travaux de modélisations relevant de ce qui est appelé ici constructivisme assembleur (et notamment bien des modèles évolutionnistes d'inspiration néo-darwinienne), procèdent de ce type de formule. Voir le dossier-débat rassemblé autour de la contribution de G. Longo dans *Intellectica*, 35, 2002/2.

12 L'œuvre de Turing, qui va du calcul logique aux problèmes de la morphogenèse, et définit comme on sait le projet d'une intelligence artificielle, est peut-être exemplaire des distinctions que nous esquissons ici, tout particulièrement dans la mesure où le calcul n'y aurait pas toujours le même statut explicatif. Cf. Jean Lassègue, ici-même, et son livre *Turing* (1998 : 133-134).

13 La dualité entre le "logique" et le "mathématique" reflèterait ce combat perpétuel (langages formels et calculs versus intuitions toujours débordantes, mais en même temps structurées, de l'infini, du continu, de l'espace). Aucune des deux perspectives ne réussit à envelopper totalement l'autre, la théorie mathématique des catégories représentant encore actuellement peut-être l'une des zones d'équivoque maximale.

14 Tout le problème, ici, pour les constructivismes assembleurs qui resteraient captifs d'un cadre épistémologique et ontologique finitiste, est de rendre compte du saut qualitatif réalisé au niveau macroscopique de l'organisation. Or, en physique statistique, par exemple, on ne parvient à des décrochages intéressants, lisibles à partir des *paramètres d'ordre* macroscopiques (définis comme les espérances de certaines observables), qu'à la condition de supposer une infinité d'éléments de base en interaction au niveau microscopique (par passage "à la limite thermodynamique"). Des systèmes qui, modélisés de façon finitiste, seraient ergodiques (tous les états étant plus ou moins visités au cours du temps), cessent alors de l'être, et leur dynamique s'organise autour d'attracteurs nettement caractérisés. Pour un exposé de ces notions dans le cadre connexionniste, voir D. Amit (1989), ou P. Peretto (1992).

15 Par exemple, pour un modèle connexionniste à la Hopfield, les facteurs d'organisation internes s'identifient aux poids des connexions, et au paramètre dit de 'température formelle' ; les apports externes sont les entrées, ou *inputs*. Dans une modélisation par systèmes dynamiques on invoquera de façon générale : (i) soit une modification des paramètres structuraux et des entrées du système, qui entraîne un changement qualitatif du paysage dynamique (l'identité qualitative doit être formellement définie par le modèle), (ii) soit une simple restabilisation vers un autre attracteur, la dynamique restant qualitativement identique. J. Petitot a de longue date montré, à la suite de R. Thom et C. Zeeman, comment ce type de modèle permet de schématiser une vaste gamme de phénomènes (correspondant à nos émergences au sens 2), par analogie avec les phénomènes critiques de la physique (Petitot, 1992). L'adéquation de ces modèles aux émergences de type 2 est telle que nous pourrions choisir de les déclarer équivalents. On en comprendrait alors mieux les limites communes : puisqu'il n'y a ici que des systèmes dont l'enveloppe morphologique et comportementale est préfixée, et qui ne peuvent pas transformer eux-mêmes le 'système' de leurs échanges avec l'environnement (tant les domaines que les lois de variation). L'environnement, comme l'enveloppe morphologique, sont donnés sous la forme d'un ensemble de paramètres de dimension finie. Leur variation combinée provoque les restructurations de l'activité interne, seule en cause dans ce type d'études.

16 Du point de vue de la modélisation, cette question se trouve donc étroitement liée à celle de la catégorisation, comme à celle de la plasticité des répertoires corticaux : ce sont souvent les mêmes modèles formels qui sont utilisés à ces différents niveaux, où ils reçoivent bien entendu des interprétations distinctes (compatibles cependant avec l'analogie transparente que le modèle permet de préciser). Citons à titre d'exemples particulièrement significatifs les travaux de Ch. von der Marlsburg, T. Kohonen, et S. Grossberg (dûment référencés dans l'anthologie en deux tomes de Anderson et Rosenfeld, 1988, 1990).

17 Est-il encore possible de rapporter de telles transitions à des systèmes conçus comme des clôtures opérationnelles définies en termes algébriques ? La réponse semble négative : quand bien même des opérations de nature algébrique interviendraient à la base, elles ne rendent pas compte des structures spatiales qui conditionnent la propagation des opérations, et qui sous-tendent les structures émergentes (on peut évoquer ici l'exemple des réseaux d'automates cellulaires ; pour une présentation cf. Weisbuch, 1989).

18 Toutes questions dont la modélisation et l'épistémologie ont progressé grâce aux travaux dans les domaines de la *Vie Artificielle*, des *Animats*, et plus généralement avec le développement des modèles évolutionnistes.

19 D'où les problèmes rencontrés ici par les modèles construits à partir de systèmes dynamiques de dimension finie : si en effet le nombre des dimensions pertinentes est pré-assigné, comment comprendre les fluctuations, a fortiori les restructurations, d'une clôture systémique, lorsqu'elles jouent sur une variété imprévisible de registres ?

20 Il existe par exemple des modèles darwiniens de l'épigenèse, qui portent sur l'évolution de certaines populations de cellules, de synapses, d'assemblées neuronales, à l'intérieur d'un même organisme (cf. le darwinisme neuronal de Changeux ou Edelman). Ils s'inscrivent certes dans une causalité physique, mais toujours en se donnant au départ sans l'expliquer la diversité et la cohérence biologiques qui permettent la réorganisation des systèmes. C'est à ce prix qu'on montre comment un organisme, du moment qu'il ne meurt pas et conserve en toile de fond son unité et sa diversité intérieure propres, peut effectivement passer d'un état A à un état B.

21 On pourra comparer cette échelle de complexité à celle que le gestaltiste W. Köhler proposait dans le cadre de son épistémologie dynamiciste. Cf. Rosenthal & Visetti (2003), p. 106-114.

22 Il est difficile de classer, du point de vue constructiviste, le type de fonctionnalisme dynamique souvent défendu en sciences cognitives par Jean Petitot. Génétique par bien des aspects, il part néanmoins de systèmes dont les espaces intérieurs sont déjà formatés, pour traiter de problèmes dans lesquels la production du formatage lui-même semble cruciale. Par exemple, pour modéliser certaines morphologies de base de la perception visuelle, on part de champs déjà stabilisés, conçus comme des espaces vides, et constitués avant même toute prise en compte de la motricité. D'une certaine façon, ces fonds topologiques pré-constitués à l'état vide, sont semblables aux 'individus' de base des constructivismes assembleurs : comme eux, ils ne sont pas constitués par leur 'fonctionnement', mais lui pré-existent. Reste évidemment qu'un tel format de référence est défini en termes topologico-dynamiques, et non en termes logiques ; cf. ma note sur les fonctionnalismes, 1996 : 282-311.

23 Le calcul approché des solutions d'équations différentielles (qu'on ne sait pas résoudre analytiquement) s'avère ici d'une importance capitale. Ainsi les phénomènes acquièrent une *figure* nouvelle, que l'on peut désormais fixer avec une certaine richesse de détails.

24 Pour une analyse plus détaillée de ces apports, cf. mon article (1994). Les quelques remarques présentées ici ne donnent qu'une idée très partielle du rôle des réseaux connexionnistes, et encore moins de celui de l'ensemble des systèmes adaptatifs. De fait, on les rencontre dans une très grande variété de domaines. Dans les sciences de l'artificiel, par exemple, pour l'implantation de mécanismes de reconnaissances de formes ou de mémoire associative que l'Intelligence Artificielle classique parvient difficilement à traiter. En neurosciences fonctionnelles, pour modéliser la stabilisation des champs récepteurs des aires perceptives primaires. Dans les sciences du langage, notamment en sémantique, ou en psychologie, à l'interface entre perception et catégorisation (schémas, prototypes). En biologie ou en éthologie théorique, en robotique, et dans le domaine de la Vie Artificielle, pour la construction par apprentissage de boucles sensori-motrices, ou dans la modélisation des écosystèmes. Dans les sciences sociales, également, pour l'étude des mécanismes spéculatifs et des phénomènes de contagion d'opinion, etc. Soulignons également la diversité possible des statuts épistémologiques : parfois simples instruments (favoris quand même), parfois schèmes constituants de l'objectivité d'un domaine particulier, parfois métaphores fondatrices pour un paradigme interdisciplinaire (comme ce fut le cas dans les premières années du néo-connexionnisme à la PDP). Cela n'a donc pas grand sens de comparer les modèles en les réduisant à leurs dimensions strictement formelles (par ex. réseaux connexionnistes *versus* machines de Turing !). Seuls les modèles *interprétés* nous importent ici.

25 C'est une conséquence quelque peu étrange de la signification très large que nous donnons ici au terme de constructivisme – précisément de façon à polariser le champ en introduisant une différence entre constructivismes assembleurs et génétiques.

26 On demandera peut-être s'il existe des constructivismes assembleurs qui ne soient pas de l'espèce strictement syntaxique. Le connexionnisme à la PDP en est peut-être un exemple... Il est facile en tout cas d'imaginer des processus d'assemblage qui, tout en reposant sur une syntaxe formelle, feraient également jouer des interactions à distance *continues* : par exemple une combinatoire moléculaire jouant sur une collection déterminée d'éléments primitifs, pour construire des molécules déclinant un *répertoire discret de types fonctionnels* (définissables à partir d'une syntaxe discrétisée, dont le déclenchement opératoire serait toutefois conditionné par des paramètres spatiaux continus) ; cette combinatoire devrait se dérouler dans un espace-temps formaté en conséquence (c'est-à-dire mis, par des moyens indépendants, à l'abri de tout événement susceptible de la perturber).

27 Il y eut malgré tout la Grammaire et la Phonologie Harmoniques, devenues Théorie de l'Optimisation (OT), dont P. Smolensky fut le maître d'œuvre, avec G. Legendre, puis A. Prince ; mais ce sont là seulement des théories marquées par le connexionnisme, et non des théories foncièrement génétiques. Reste toutefois à découvrir le nouvel ouvrage de P. Smolensky, *The Harmonic Mind*, écrit en collaboration avec la linguiste G. Legendre (deux volumes à paraître, 2004, MIT Press).

28 Voir par exemple les Actes des séminaires de l'ENST sur l'émergence et la formation des symboles dans les modèles de la cognition, 1992, 1993.

29 D'où l'intérêt d'élaborer des sémantiques qui considèrent le noyau le plus 'fonctionnel' des langues, et non pas seulement la 'mémoire lexicale', comme relevant de niveaux de généralité immédiatement sensibles (eux aussi) à l'innovation, et plus généralement à la variation contingente. Si l'on suppose alors un étagement dynamique du procès d'énonciation, avec une co-existence de diverses "phases" dans la construction du sens, il devient possible d'apprécier les variations suivant différents ordres concurrents de généralité (programme que nous avons tenté de faire avancer, en proposant avec P. Cadiot une *théorie des formes sémantiques*, 2001).

30 D'assez nombreux modèles étudient les conditions sous lesquelles la 'signification' des unités sémiotiques, que l'on suppose apparaître dans un cadre précis de transactions ('privées', le plus souvent), finit par converger socialement. Mais ces modèles le font, soit en supposant donné un consensus social sur un certain 'sens' utilitariste de la communication (*nommer pour désigner* une ressource ou un danger, par exemple), soit en partant de tendances individuelles à la coopération ou à la tromperie, mises en œuvre dans l'effort de s'approprier une part suffisante d'un ensemble prédéterminé de ressources (dont le caractère de besoin n'est pas mis en doute). Tous supposent donc établi le système des désirs, des pulsions, des jouissances, des gratifications, et dans une large mesure aussi, l'ensemble des formes susceptibles de les emblématiser. Aucun modèle n'aborde la question d'une différenciation du désir, qui serait organiquement liée à celle des pratiques sociales et des genres sémiotiques.

31 Cf. l'ouvrage collectif édité par Petitot, Varela, Pachoud, Roy 1999. Sur cette question de la constitution du temps propre, on pourra également se rapporter aux réflexions de V. Rosenthal sur le concept d'autochronie (1993).

32 Pour une discussion et une reprise des expériences de Bach-y-Rita, cf. les travaux de C. Lenay (notamment son article avec F. Sebbah, 2001). Voir également J. Proust (éd.) 1997.

33 On voit bien cependant comment la modélisation, quand elle est convenablement interprétée, parvient à rester fidèle à la problématique gestaltiste, et plus généralement aux problématiques constructivistes génétiques dont nous la rapprochons. Aucune région du champ n'a de valeur ou de fonction, si ce n'est en interaction constante avec d'autres régions du champ. Plus encore, aucune région n'existe à l'état séparé. Une analyse en "éléments", qu'il ne faut pas confondre avec une réduction, reste possible, mais elle prend un tout autre sens que dans les approches élémentaristes : ici les éléments sont des points, des contributions infinitésimales dont le rapport aux macro-structures observées n'est pas finement assignable (si ce n'est, et encore, dans une approximation informatique).

34 Toutefois, ce type de simplification précipite des oublis et des compromis dommageables. On devra par exemple pré-assigner dans une large mesure les dimensions caractéristiques des schèmes. On sera poussé à considérer chaque schème isolément avant d'opérer sa connexion aux autres. En oubliant que toute cette interaction dépend crucialement d'un champ global qu'on ne prend que très mal en considération, on sera tenté de considérer comme immanents aux schèmes, c'est-à-dire donnés d'avance dans leur potentiel de déformation, des phénomènes qu'une prise en compte du champ aurait fait concevoir autrement – comme résultant par exemple de superpositions de dynamiques caractéristiques de champs sémantiques entiers, et non de dynamiques propres à des unités isolées, qui n'en sont que des effets, ou des indices de déclenchement parmi d'autres.

35 Notamment lorsque l'on tente de modéliser le concept d'autopoïèse. Ainsi que l'écrit J. Stewart (communication personnelle) : "la théorie de l'autopoïèse n'a trouvé jusqu'ici aucune formulation en tant que modélisation mathématique. C'est pour cette raison que Varela lui-même disait que l'autopoïèse n'était pas une véritable théorie, seulement une 'notion'. Pire : si on accepte d'assimiler la notion d'autopoïèse à celle de 'clôture sous causalité efficiente' (Rosen 1991, dans son livre *Life Itself*, Columbia University Press), il se peut qu'il existe des obstacles de principe à toute simulation informatique, ou même à une conception en termes de systèmes dynamiques". Pour une discussion approfondie de ces questions, on se reportera aux analyses de J. Stewart (notamment 2000, 2002).

36 Les modèles fondés sur le concept de brisure de symétrie n'en rendent pas compte suffisamment. Ils permettent bien de comprendre comment, sur un substrat contraint par l'action d'un certain groupe de symétrie, des organisations peuvent apparaître qui sont caractérisées par des sous-groupes de symétrie variables (et plus le groupe est petit, plus l'organisation paraît différenciée). Ces organisations apparaissent alors comme autant d'options accessibles au système étudié. Mais reste à comprendre la raison pour laquelle les systèmes étudiés s'engagent irréversiblement dans telle voie (vitale), plutôt que dans telle autre (létale), et la manière dont ils pourraient "contribuer de l'intérieur" à ce choix.

37 Des physiciens se sont engagés dès les années 1980 dans cette voie, avec les modèles d'ordre au bord du chaos, ou avec ceux de criticalité auto-organisée.

38 Ce faisant, on ne s'éloigne pas de la conceptualité physicienne contemporaine : au contraire, on s'en rapproche. On peut en effet soutenir, comme le font notamment F. Bally et G. Longo, que la physique elle-même ne fait plus appel à des *causes efficientes* (ou motrices), mais à des *causalités formelles*, analogues à celle d'Aristote, à ceci près que la 'forme' invoquée aujourd'hui est mathématique. Reste évidemment que l'actualisation de ce possible physique se produit dans un espace-temps mesurable – et se laisse prédire (statistiquement, parfois) avec la précision que l'on sait, ou que l'on imagine.