Sémiotique et mathématiques

Jean Petitot
École des hautes études en sciences sociales

Ce chapitre[1] aborde la question des relations entre sémiotique et mathématiques sous l'angle des modèles dynamiques en sémiotique structurale. Précisons la signification de ce choix :

(i) D'abord, il est clair que les relations entre sémiotique et mathématiques peuvent concerner soit (1) l'application de théories et de méthodes sémiotiques à des activités et des textes mathématiques, soit (2) l'application de structures mathématiques spécifiques à des phénomènes sémiotiques : concepts, principes, objets, structures, processus, etc. Il ne sera ici question que de l'aspect (2).

(ii) Ensuite le rapport de la formalisation mathématique au domaine sémiotique est très différent suivant les traditions sémiotiques considérées. Si l'on adopte par exemple le partage entre (1) sémiotique pragmatique américaine et (2) sémiotique structurale continentale, on doit tenir compte du fait que la première, exemplifiée par Peirce, est indissociable d'une philosophie des mathématiques, ce qui n'est pas le cas de la seconde. Il ne sera ici question que de la tradition structuraliste (2).

(iii) Dans les théories sémiotiques structuralistes, de Saussure à Greimas et Lévi-Strauss en passant par Jakobson et Hjelmslev, les formalismes utilisés sont élémentaires et majoritairement algébriques (groupe de Klein, etc.). Ce n'est que vers la fin des années 1960 que s'est développé un structuralisme dynamique utilisant les outils topologiques, géométriques et différentiels de la théorie des singularités, de la dynamique qualitative introduite par Poincaré et de la théorie des bifurcations. Il ne sera ici question que des modèles dynamiques et, plus précisément, de la formalisation des structures sémiotiques élémentaires en termes de déploiements universels de singularités.

Issu d'une synthèse entre, d'un côté, les travaux mathématiques de René Thom appliquant dès les années 1960 la théorie des singularités au structuralisme en biologie et en linguistique (voir *Stabilité structurelle et Morphogenèse* paru en 1972) et, d'un autre côté, ceux de structuralistes comme Roman Jakobson, Claude Lévi-Strauss et Algirdas Julien Greimas, le structuralisme dynamique en sémiotique fut une innovation théorique des années 1970. Au début il fut assez mal compris parce qu'une approche modélisatrice multi-niveaux et non algébrique du concept de structure était inhabituelle. Mais il peut être considéré aujourd'hui comme à peu près reconnu puisque même ses anciens détracteurs le promeuvent.

Roman Jakobson considérait la percée de René Thom comme décisive. Il disait qu'il ne connaissait que cinq véritables structuralistes : Saussure, le prince Troubetzkoy, lui-même, Claude Lévi-Strauss et René Thom. René Thom s'était prioritairement intéressé à la biologie (embryogenèse et morphogenèse) et au problème de la forme au sens proprement morphologique tel qu'il avait été développé tout au long d'une longue tradition menant d'Aristote à Waddington en passant par Goethe et D'Arcy Thompson. Il avait aussi travaillé sur la syntaxe actantielle structurale au sens de Tesnière et avait discuté avec des linguistes comme Hansjakob Seiler et Bernard Pottier, mais il n'avait approfondi à cette époque ni la sémiotique ni l'anthropologie. Dans les années 1970, j'ai donc tenté d'élargir l'approche morphodynamique à la sémiotique structurale en modélisant les structures élémentaires de la signification chez Greimas (paradigmes sémantiques, syntaxe actantielle et projection de l'axe paradigmatique sur l'axe syntagmatique) ainsi que la formule canonique du mythe chez Lévi-Strauss.

1. Les structures élémentaires comme « équations intelligentes »

Du carré sémiotique de Greimas jusqu'à la formule canonique du mythe de Lévi-Strauss, les structures élémentaires posent un problème fort intéressant. Ce sont des structures simples, essentiellement des combinaisons élémentaires d'oppositions, la thèse fondamentale du structuralisme étant que la différence est ontologiquement première par rapport à l'identité : les identités se déterminent réciproquement par différences au moyen d'écarts différentiels et il n'y a pas d'identité propre qui soit indépendante.

1.1. Conflits et bifurcations

Prenons le carré sémiotique. Il relie trois oppositions : une opposition entre contraires, autrement dit une opposition *qualitative* de type X/Y ou A/B entre deux pôles et deux oppositions *privatives A/nonA* (écrit $A/\neg A$ avec le symbole $\neg$ de la négation) où la présence d'un terme A s'oppose à son absence $\varnothing$ (symbole du vide).

En général, on comprend mal le statut théorique de telles structures. Une fois qu'on les a dégagées à partir de corpus empiriques suffisamment étoffés, on cherche à les retrouver partout, voire à les plaquer sur de nouvelles données. Une telle pratique répétitive de réduction à l'identique marche toujours, mais elle n'a évidemment guère d'intérêt. En fait, retrouver les structures élémentaires un peu partout ne correspond qu'au tout début du travail théorique. Le travail le plus important, abordé ni par Lévi-Strauss ni par Greimas, est de rendre ces structures *génératives*. En tant que telles, elles ne sont pas des modèles mais seulement des *sources* de modèles et n'ont d'intérêt que si l'on peut en dériver une grande et riche diversité. Pour expliquer ce point critique, on peut se référer un instant aux équations fondamentales de la physique.

Nous avons tous appris à l'école l'équation de Newton $f = m\gamma$ régissant le mouvement des corps matériels et disant que si l'on considère un corps de masse m soumis à des forces f, son accélération est $\gamma = f/m$. Elle est « universelle » et on la retrouve donc partout. Tout système mécanique classique est régi par $f = m\gamma$. Considérons alors n'importe quel problème de mécanique, par exemple le mouvement de trois corps en interaction gravitationnelle. On mesure (si on le peut) leurs masses et leurs distances, ce qui donne les forces d'après la loi de l'attraction en inverse du carré de la distance, et l'on mesure leurs accélérations. Et l'on constate que l'on retrouve bien $f = m\gamma$. Mais est-ce que la physique s'arrête là ? Pas du tout. Elle *commence* là. Vérifier l'équation n'est que le tout début du travail. Le problème à trois corps, et *a fortiori* celui à *n*-corps, trois siècles après Newton, est encore très largement ouvert et de nombreux mathématiciens de haut niveau y travaillent toujours. Henri Poincaré a révolutionné la dynamique et inventé la dynamique qualitative pour le résoudre. Mais qu'est-ce que cela peut-il bien signifier puisqu'il n'y a qu'une équation très simple qui est toujours la même, et qu'il suffit d'écrire et de vérifier ? Comment peut-il se faire que le problème soit toujours ouvert ? Tout simplement parce qu'une fois qu'on a une équation différentielle spécifique, en l'occurrence $f = m\gamma$, spécifiée pour un problème comme le problème à trois corps, encore faut-il *l'intégrer*, c'est-à-dire trouver les trajectoires qui en sont les *solutions*. L'équation est simple, mais son intégration est en général extrêmement difficile. Or, ce sont les solutions – et non pas l'équation elle-même – qui sont des modèles des phénomènes dans leur diversité. L'équation en tant que telle n'est qu'une contrainte sur les phénomènes et non pas un modèle. Mais elle contient, implicitement et non pas explicitement, une extraordinaire diversité de solutions-modèles, des orbites képlériennes du problème à deux corps aux anneaux de Saturne constitués de milliards de petits blocs en interaction. C'est la *générativité* de l'équation. On dit parfois que l'équation est une « équation intelligente ».

La « philosophie » ici à l'œuvre est qu'une équation n'est rien sans ses solutions et qu'en général la mise en équation d'un problème est beaucoup plus simple que de trouver les solutions.

C'est cette analogie que j'ai élaborée dans les années 1970 : penser les structures élémentaires comme l'équivalent de « formules intelligentes », c'est-à-dire comme contraintes générales génératrices d'une grande diversité de modèles spécifiques confrontables à la grande diversité des données empiriques. C'est l'inverse de la réduction répétitive à l'identique, c'est la générativité. Greimas et Lévi-Strauss ont « mis en équation » certaines structures sémiotiques mais n'ont donné aucun outil pour en trouver des « solutions ».

D'une façon générale, le structuralisme peut être considéré comme une « mise en équation » de certains phénomènes sémio-linguistiques, mais, à ce titre, il n'est que le premier pas d'une reconstruction mathématique de ces phénomènes.

Le problème était donc au début des années 1970 de savoir comment transformer *en sources de modèles* les contraintes exprimées par une structure élémentaire. Il fallait un changement de point de vue que l'on peut expliquer simplement.

Considérons des oppositions : soit des oppositions qualitatives X/Y ou privatives $X/\varnothing$ (réécrit $X/\neg X$) pour des sèmes, soit des oppositions S « combat » S^* ou S « capture » O pour des actants (S = sujet, S^* = antisujet, O = objet-valeur). Avec ces écritures élémentaires à base de symboles, on ne peut pas faire grand-chose. En mettant ensemble X/Y, $X/\neg X$ et $Y/\neg Y$ on obtient un simple carré sémiotique standard et rien de plus.

L'idée de base de l'approche morphodynamique est de considérer que les déterminations X, Y, etc. représentées par des symboles occupent des *places* définies par un *processus dynamique* de compétition (de détermination réciproque) qui est continu et « énergétique » et utilise des « poids » relatifs, des « forces », liant les déterminations. On introduit donc ce que l'on appelle des « potentiels générateurs » $f(x)$ – où x est une variable dite *interne* – définissant des places pour les symboles. Il s'agit donc d'ajouter à une *Begriffsschrift* symbolique une *iconicité* topologique, géométrique et dynamique fondée sur des *intensités*, en quelque sorte une *Begriffsgeometrie*.

Ces potentiels générateurs sont introduits abductivement comme une hypothèse de travail. Ils sont comme les forces chez Newton, forces qui sont également des entités théoriques abductives non empiriques. Mais de même que la relativité générale a justifié l'hypothèse de Newton en la réinterprétant profondément, on peut justifier cette hypothèse à partir des neurosciences cognitives. Nous laisserons toutefois ici de côté cet aspect des choses (voir Petitot, 2011a).

La figure 1 donne un exemple d'un tel potentiel f pour une opposition qualitative X/Y. Il a la forme globale d'un puits possédant dans sa partie inférieure deux minima (non dégénérés, c'est-à-dire qui ne sont pas des fusions de plusieurs minima et maxima) et un maximum (non dégénéré).

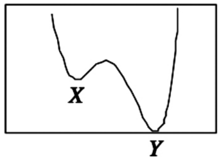

Figure 1

On remarque immédiatement plusieurs choses :

(i) Les deux déterminations *X* et *Y* se déterminent réciproquement grâce au potentiel *commun f* en occupant les minima de *f*. Le potentiel est donc traité comme une sorte d'énergie qu'il s'agit de minimiser. Les poids sont définis par la hauteur relative des minima, la détermination dominante correspondant au minimum absolu. Sans potentiel, pas de détermination réciproque.

(ii) Comme on a introduit des degrés continus de variabilité, on peut donner une signification à des expressions comme « *Y* domine *X* » : notation (*X*)/*Y*.

(iii) Il existe un *seuil s* entre *X* et *Y* ; il est représenté par le maximum et sa hauteur relative représente la force de séparation, en quelque sorte le degré de différenciation, entre *X* et *Y*.

(iv) Comme les minima et le maximum sont non dégénérés, le potentiel est *stable*, c'est-à-dire ne change pas de type qualitatif lorsqu'on le déforme un petit peu[2].

On voit alors qu'en *déformant f* suffisamment (et pas seulement un petit peu) on peut faire varier de façon continue les poids relatifs de *X* et de *Y* ainsi que la force du seuil jusqu'à changer le type qualitatif du potentiel. Ces changements s'opèrent à la traversée « d'événements » que sont les apparitions de potentiels instables :

– Par exemple, il y aura un *conflit X/Y* avec équilibre dynamique des forces lorsque les poids seront égaux, c'est-à-dire lorsque les minima seront à la même hauteur. Il s'agit d'une situation instable qui fait passer de *X*/(*Y*) à (*X*)/*Y* (figure 2).

– Il y aura *disparition* ou « capture » d'un des termes lorsque l'un des minima fusionnera avec le maximum. Il s'agit d'une situation instable qui fait passer par *bifurcation*, par exemple, de *X*/(*Y*) à *X*/∅ (figure 3).

– Une double bifurcation *X*(*Y*)/∅ et ∅/*Y*(*X*) engendre une disparition du seuil et l'apparition de termes neutres ou complexes $X{*}Y$ occupant un minimum dégénéré instable (figure 4) : un terme neutre se scinde en une opposition ou, réciproquement, une opposition fusionne en un terme complexe.

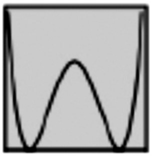
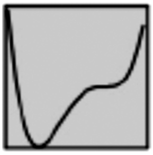


Figure 2 *Figure 3* *Figure 4*

On remarquera que les oppositions qualitatives *X/Y* et les oppositions privatives *X*/∅ correspondent très précisément aux conflits et aux bifurcations, c'est-à-dire aux deux processus critiques de base pouvant affecter des minima.

Il est alors très facile de construire le graphe d'incidence de ces possibilités. On obtient ainsi une taxinomie des relations possibles entre deux termes. Son graphe est représenté à la figure 5. Le potentiel de gauche est le potentiel instable fusionnant les minima et le maximum et les flèches représentent les stabilisations partielles ou complètes de ce « centre organisateur » qui peuvent être obtenues par petites déformations.

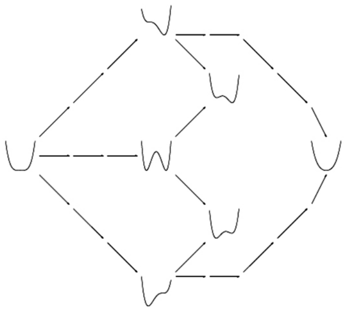

Figure 5

1.2. Éléments et interactions

Avant de continuer, nous voudrions insister sur la méthodologie et l'épistémologie de la modélisation qui, banales dans des sciences comme la physique, est presque inexistante en sciences humaines et sociales. D'habitude, les sémioticiens et les linguistes considèrent les structures élémentaires comme les composants de « niveau 0 » de la théorie, composants qu'ils n'ont pas à investiguer plus avant et dont ils n'analysent que des combinaisons suffisamment riches et compliquées. Par exemple, la sémiotique greimassienne (voir Greimas et Courtés, 1979) est une théorie stratifiée en niveaux par le dit « parcours génératif » « montant » du niveau 0 de la sémantique fondamentale et de la syntaxe narrative aux niveaux discursifs de surface.

Mais, quitte à outrepasser le principe de clôture de la sémiotique comme discipline, il faut être attentif au fait que les niveaux sémiotiques « fondamentaux » ne constituent pas du tout un niveau 0 mais des niveaux émergeant de processus sous-jacents complexes, *sub*-sémiotiques, « descendant » jusqu'au niveau des dynamiques neuronales. Pour clarifier ce point, utilisons un instant une analogie chimique. Elle ne vaut rien scientifiquement, mais elle est néanmoins assez parlante. En chimie, les structures élémentaires sont les molécules simples faisant interagir quelques atomes et il en existe plusieurs niveaux de description. Prenons l'exemple de l'eau. Le niveau le plus simple est celui d'une écriture symbolique comme H_2O disant qu'il existe une interaction entre un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène. Dans l'analogie, cela correspond à l'écriture *X/Y* pour signifier une interaction conflictuelle entre *X* et *Y*. Évidemment, ce qui intéressera vraiment le biologiste seront les molécules très compliquées comme les protéines avec leurs fascinantes propriétés. Il considérera que H_2O se situe au niveau 0. Le sémioticien occupe une position analogue.

Mais ce qui intéressera le physicien sera au contraire de comprendre la structure de la molécule d'eau H_2O en termes de mécanique quantique et, en particulier, en termes de l'équation de Schrödinger qui est pour la mécanique quantique l'analogue de l'équation de Newton pour la mécanique classique. Or, de la chimie quantique à la biochimie, il existe plusieurs niveaux de modélisation correspondant chacun à des spécialisations très techniques et hybridant plusieurs méthodes (pour s'en faire une idée, il suffit de regarder les travaux des Nobel 2013, Martin Karplus, Michael Levitt et Arieh Warshel en modélisation moléculaire). Dans l'analogie, l'horizon que serait le passage progressif de la sémiotique discursive aux dynamiques neuronales est l'analogue de l'horizon que serait le passage progressif de la biologie à la physique quantique et il est, tout comme lui, complètement inaccessible. Mais il est en revanche accessible, *bien que déjà très compliqué*, en ce qui concerne le problème extrêmement limité et focalisé des structures élémentaires, de même qu'il l'est pour la molécule d'eau.

Pour la molécule d'eau, comment passe-t-on de l'écriture symbolique H_2O à la physique quantique sous-jacente ? D'abord en définissant la *configuration géométrique* de la molécule (longueur des liaisons O-H, angle entre les deux liaisons). Dans l'analogie, cela correspond à la géométrisation des relations dans les structures élémentaires que nous allons expliquer dans les sections suivantes. Ensuite, les liaisons covalentes O-H doivent elles-mêmes être expliquées. En physique quantique, l'explication passe par la notion d'orbitales atomiques et le processus d'hybridation d'orbitales des différents atomes, ce qui permet aux électrons de valence de se partager entre les atomes et, par-là même de les lier entre eux. Dans l'analogie, cela correspond à la théorie de la *valence* actantielle, notion que les linguistes connaissent bien avec la notion de « valence verbale », l'emprunt du terme « valence » à la chimie n'étant en rien arbitraire. En sémiotique, les interactions sont des interactions actantielles déployées par un centre organisateur possédant une certaine valence et, dit en jargon sémiotique, les actants investis de « sèmes noyaux » sont liés entre eux par des échanges de « classèmes » (on appelle cela une « isotopie »). Enfin, dernière étape de très loin la plus difficile de la chimie quantique de H_2O, les orbitales et leurs hybridations doivent être calculées à partir de l'équation de Schrödinger de la molécule. Cette équation est la version quantique d'interactions électrostatiques à la Coulomb qui sont analogues à des interactions gravitationnelles à la Newton où l'on aurait remplacé les masses par les charges électriques. Il s'agit donc d'un problème à n corps, et celui-ci n'est pas résoluble analytiquement (c'est-à-dire avec des formules explicites) dès que $n > 2$ (le problème képlérien à 2 corps est, lui, intégrable). La résolution de l'équation de Schrödinger ne peut être que numérique et elle passe par tout un ensemble de méthodes d'approximation qui deviennent de plus en plus sophistiquées au fur et à mesure que la complexité des molécules augmente. Nous allons rencontrer le même type de problèmes. Si l'on veut modéliser les structures élémentaires à plusieurs niveaux sub-sémiotiques, on perd en extension ce que l'on gagne en profondeur : plus la théorie multi-niveaux devient fine et plus elle est locale. Une théorie multi-niveaux globale est totalement inaccessible. Ce n'est tout au plus qu'une Idée régulatrice au sens de Kant.

1.3. Les déploiements universels : vers la solution du problème des « solutions »

Après ces quelques remarques de méthodologie utilisant une analogie qui, bien que scientifiquement sans intérêt, est épistémologiquement éclairante, acheminons-nous vers la résolution du sens que peut revêtir la notion de « solution » pour les structures élémentaires.

Ce qui est crucial – et c'est là que les mathématiques non triviales de la théorie des singularités interviennent vraiment – est le *théorème* de Whitney-Thom disant que toutes les déformations suffisamment petites d'un puits de potentiel instable à une variable interne $f_0(x)$ qui possède une singularité fusionnant deux minima et un maximum non dégénérés se regroupent en une famille universelle $f_w(x)$, dite *déploiement universel*, de dimension 2, dimension dite *codimension* de f_0. Si $w = (u, v)$, cela signifie que les petites déformations stabilisant f_0 dépendent essentiellement de deux *paramètres* u et v dans un espace de contrôle W aussi appelé *espace externe*. La figure 6 montre comment la taxinomie de la figure 5 se trouve ainsi *géométrisée.* Telle est la clé du *morphological turn* : *transformer des taxinomies en des déploiements de singularités et géométriser l'algèbre des oppositions.*

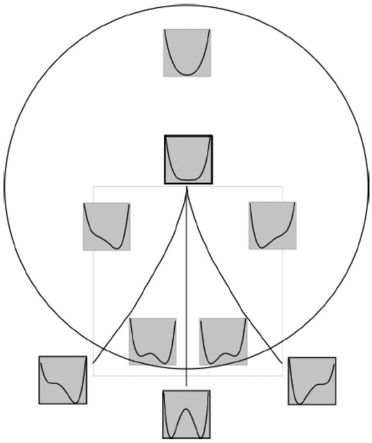

Figure 6

On voit qu'il existe une ligne de conflit encadrée par deux lignes de bifurcation, ces trois lignes se rejoignant pour la valeur $w_0 = (0, 0)$ de w en un point de rebroussement (*cusp* en anglais) correspondant à la singularité organisatrice f_0 dite pour cela singularité *cusp*. Ces lignes s'appellent des *strates* et, étant de dimension 1 dans un espace de dimension 2, elles sont de codimension 2–1 = 1. Différence de la dimension de leur espace ambiant et de leur dimension propre, leur codimension exprime qu'elles sont définies par une condition (égalité des valeurs des minima ou fusion d'un minimum avec le maximum). Le point où elles se rejoignent (le cusp) est défini par deux conditions et il est de codimension 2 et par conséquent de dimension 2–2 = 0, ce qui est bien le cas d'un point.

On voit également sur la figure 6 que, du haut vers le bas, l'axe vertical correspond à l'apparition et au renforcement du seuil (paramètre de contrôle que l'on appelle le *splitting factor*) alors que l'axe horizontal correspond au changement des poids relatifs des deux déterminations (paramètre de contrôle que l'on appelle le *bias factor*). Grâce à ces paramètres, on peut intégrer à la structure même des modèles des dynamiques du genre « conflit irréductible » (seuil fort) ou « conflit avec compromis » (seuil faible).

On peut mieux visualiser les choses en portant sur un troisième axe les valeurs de la variable interne x correspondant aux minima et maxima de f_w.

On trouve ainsi la surface dite *fronce* qui se projette sur le plan externe W. Son contour apparent est constitué des deux lignes de bifurcation qui sont la projection des deux lignes plis correspondant aux oppositions privatives $X/\varnothing$ et $Y/\varnothing$ (figure 7). On constatera que cette géométrie implique que deux déterminations opposées peuvent néanmoins se transformer *continûment* l'une en l'autre si l'on contourne le centre organisateur. Cela signifie que la géométrisation des déterminations est *incompatible avec le principe d'identité* et satisfait bien le principe structural de précédence ontologique de la différence sur l'identité.

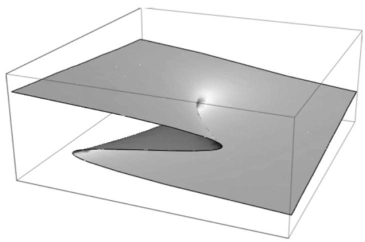

Figure 7

2. Les structures élémentaires comme schèmes

2.1. Carré sémiotique et cycle d'hystérésis

Revenons à partir de là au carré sémiotique et à son circuit « en huit » $A \rightarrow nonA \rightarrow B \rightarrow nonB \rightarrow A$ (figure 8) que Greimas a rencontré dans un nombre considérable de données empiriques.

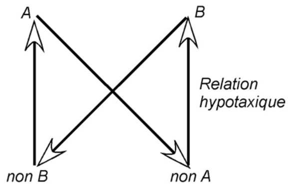

Figure 8

Dans le modèle dynamique du cusp, il correspond au c*ycle d'hystérésis* représenté à la figure 9 sur la surface fronce, cycle qui est le phénomène dynamique le plus caractéristique de la catastrophe cusp. En effet *non A* correspond au fait que *A* bifurque sur la ligne pli et que son minimum est remplacé par le minimum occupé par *B*. La bifurcation de *A* vers *B* schématise la relation dite *hypotaxique nonA* → *B*.

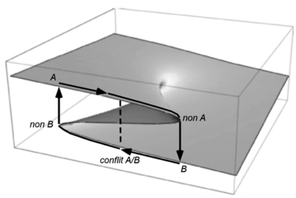

Figure 9

2.2. Les chemins dans l'espace externe comme « solutions »

Si nous avons proposé d'appeler ces modèles plutôt des « schèmes », c'est parce qu'on ne connaît pas à ce niveau l'origine des potentiels générateurs. On les introduit comme on introduit les symboles en logique ou les forces en mécanique à titre de principes explicatifs, mais sans pouvoir les expliquer en tant que tels en restant dans le cadre sémiotique. Leurs effets sont empiriquement observables, mais eux-mêmes sont, comme le disait Newton pour les forces, des « hypothèses ». Pour les forces mécaniques, il a fallu attendre la relativité générale pour les comprendre. Pour la logique, il a fallu attendre d'une part les ordinateurs et d'autre part les neurosciences cognitives. Pour les potentiels générateurs, il en va de même.

Mais, quoi qu'il en soit, la géométrisation permet de définir enfin ce qu'est une *solution* de l'« équation » *A/B* : une « solution » est un *chemin dans l'espace externe W*. Cela signifie que l'on fait dépendre le contrôle externe w d'un paramètre temporel t et que l'on considère la déformation de potentiel à un paramètre $f_{w(t)}(x)$. La structure élémentaire est un paradigme, mais sa géométrisation introduit un espace externe où l'on peut naviguer de façon *syntagmatique*. Lorsqu'ils traversent les lignes de conflit et de bifurcation, les chemins décrivent des *événements* interprétables narrativement et il existe une certaine multiplicité des chemins possibles.

Sans espace externe, on ne peut pas définir de chemins et il n'existe donc pas de « solutions » ! On voit ainsi que les trois grandes étapes de la *Begriffsgeometrie* fournie par la schématisation morphodynamique des structures élémentaires sont :

(i) L'introduction de potentiels générateurs $f(x)$ qui sont des fonctions de variables internes et sont utilisés dans le cadre d'un principe variationnel de minimisation.

(ii) L'introduction des déploiements universels $f_w(x)$ de potentiels singuliers instables dans des espaces externes W stratifiés. C'est là que des mathématiques tout à fait non triviales se révèlent indispensables.

(iii) La considération de chemins dans ces espaces externes. Les traversées des strates de W correspondent à des événements et les chemins représentent donc des syntagmations d'événements.

La figure 10 représente un chemin dans W traversant une ligne de bifurcation. Il correspond à un scénario de « capture » de X par Y représenté à la figure 11.

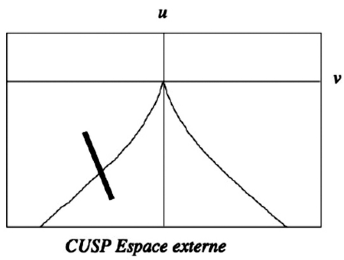

Figure 10

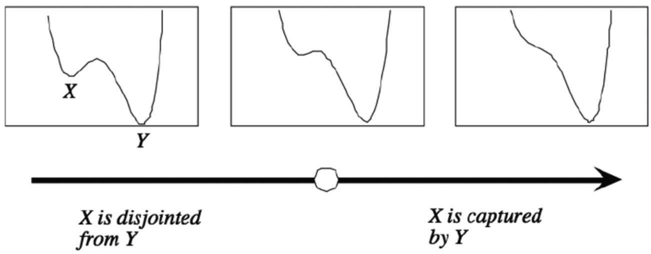

Figure 11

Avec des chemins plus compliqués, on peut enchaîner temporellement des *séquences* d'événements et représenter ainsi de véritables concaténations syntagmatiques. Autrement dit, le principe structuraliste fondamental de *projection de l'axe paradigmatique sur l'axe syntagmatique* prend un sens bien défini. La transformation d'oppositions en scénarios est ainsi intrinsèque au modèle. Qui plus est, les différents chemins dans un même espace externe *W* peuvent être considérés comme autant de *variantes* dans la syntagmation d'un même paradigme.

Nous avons dit à propos des « équations intelligentes » que leur intérêt était de regrouper une grande diversité de solutions, la simplicité apparente de l'équation se déployant dans la complexité de l'ensemble des solutions. C'est bien le cas ici et l'on pourrait donc dire que le schématisme morphodynamique essaye de rendre le carré sémiotique « intelligent ». Ce qui n'est pas rien...

2.3. Les complexifications du schème

Mais avec le cusp, la fronce et le cycle d'hystérésis nous n'en sommes qu'au tout début de la schématisation. En effet pour tenir compte du carré sémiotique dans son ensemble, il faut enrichir le schématisme et introduire, en plus de l'opposition *X/Y*, les bifurcations *X/*∅ et *Y/*∅ qui représentent la *genèse* des déterminations elles-mêmes. Le modèle du cusp et de la fronce n'est pas suffisant car il suppose d'une part qu'une détermination soit toujours déjà donnée même si elle peut se scinder en un conflit dynamique de sous-déterminations et d'autre part que le « non » de l'absence ∅ soit toujours-déjà un « non » de négation et que les relations hypotaxiques $nonX \rightarrow Y$ et $nonY \rightarrow X$ soient obligatoires. Cela est dû au fait que le potentiel a la forme globale d'un puits avec des parois « montantes » confinant les minima et les maxima. Pour rendre compte d'un processus de genèse de détermination $\varnothing \rightarrow X$ il faut que, du côté de *X*, le potentiel générateur $f_w(x)$ ait une « paroi montante » qui, au-delà d'un certain seuil (le seuil de création de la détermination) deviennent « descendante », ce qui introduit un nouveau maximum. Autrement dit, il faut des possibilités de sortir du puits de potentiel.

Or l'analyse mathématique montre que, dès que l'on enrichit ainsi un tout petit peu la forme des potentiels, la géométrie des déploiements universels se complexifie énormément et que donc la possibilité de syntagmation s'enrichit considérablement. Autrement dit, le nombre de « solutions » pouvant être des modèles de syntagmations empiriques augmente énormément, ce qui élimine le spectre de la réduction répétitive à l'identique.

La figure 12 montre la taxinomie des potentiels générateurs à deux minima et deux maxima permettant de schématiser une opposition qualitative *X/Y* et (seulement) *l'une* des oppositions privatives, par exemple ∅*/X*. La géométrisation de ce schème ∅*/X/Y* par le déploiement universel du potentiel singulier instable où ces quatre points critiques fusionnent en un point de double inflexion donne un espace externe *W* de dimension 3. Les strates de codimension 1 (carrés avec cadre simple dans la figure) définies par une condition de conflit (égalité des 2 minima, ou des 2 maxima, ou d'un minimum et d'un maximum) ou de bifurcation (fusion d'un minimum et d'un maximum) y sont maintenant de dimension 3–1 = 2. Les strates de codimension 2 (carrés avec cadre gras dans la figure) définies par deux conditions sont de dimension 3–2 = 1. Ce sont bien sûr une ligne de cusp (fusion des deux minima et de leur seuil). Mais il y a aussi une ligne de cusp dual (fusion des deux maxima et du minimum intermédiaire), une ligne à la fois d'égalité des minima et des maxima, une ligne de double bifurcation et des lignes d'égalité entre un minimum ou un maximum et une bifurcation.

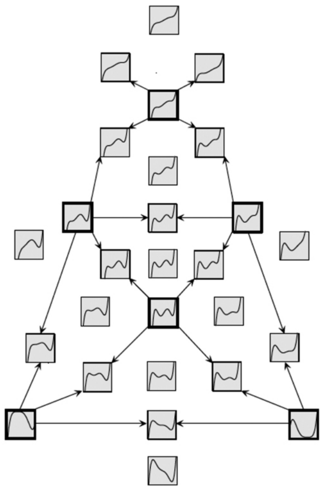

Figure 12

La figure 13 montre une section bidimensionnelle de cet espace *W* (on doit donc abaisser de 1 toutes les dimensions des strates). Il est très instructif de voir comment la taxinomie (le paradigme) se trouve *géométrisée par une stratification de l'espace externe W*. C'est, répétons-le, tout l'apport de la théorie des singularités. Si on le compare à celui de la figure 6 du cusp, on peut constater la remarquable augmentation de complexité de la stratification géométrique et donc des scénarios narratifs qu'elle regroupe.

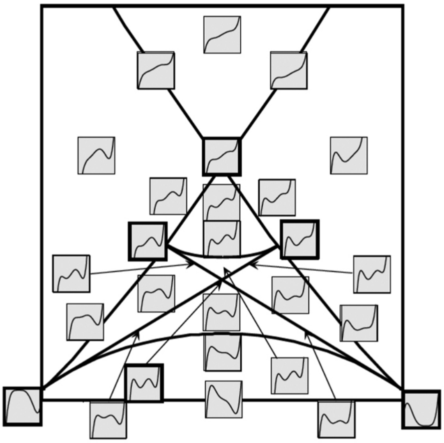

Figure 13

Quand on introduit la possibilité de genèse $\varnothing \rightarrow Y$ de l'autre détermination Y, à savoir le schème $X/Y/\varnothing$, on obtient des potentiels générateurs à deux minima et trois maxima. Le déploiement universel associé $\varnothing/X/Y/\varnothing$ est alors de dimension 4 et de géométrie encore plus compliquée.

2.4. Variantes et classes d'homotopie

Les déploiements universels stratifiés ($f_w(x)$, W, K) un peu compliqués permettent de préciser la notion de « variante » introduite plus haut pour le cusp. Soit (W, K) un déploiement où K représente l'ensemble $\{K_i\}$ des strates de conflit et de bifurcation. Les « solutions » sont des chemins $C = f_{w(t)}(x)$ dans W. C traversera certaines strates K_i et, *génériquement*, l'intersection ne concernera que des strates de codimension 1 et sera *transversale* d'après un théorème fondamental de Thom dit théorème de transversalité. Les intersections $C \cap K_i$ sont les événements syntagmatisés par C. Les variantes sont des classes d'équivalence de chemins (disons de même extrémités) qualitativement équivalents. Comment définir cette notion de façon précise ? L'idée est de *déformer* les chemins (avec extrémités fixes), c'est-à-dire de considérer des familles $C_s = f_{w(t),s}(x)$ dépendant d'un paramètre supplémentaire. Cela s'appelle en topologie algébrique une *homotopie*. Génériquement, d'après le théorème de transversalité, une homotopie de chemins ne peut intersecter au plus que des strates de codimension 2 transversalement en des points isolés. Si elle ne rencontre transversalement que des strates de codimension 1, alors tous les chemins C_s sont équivalents et correspondent essentiellement au même scénario. En revanche, lorsqu'elle traverse une strate de codimension 2, les chemins changent de scénario et l'on passe d'une variante à une autre. Si l'on suspend la contrainte que les C_s aient des extrémités fixes, on obtient des sous-variantes.

Dans le cas du cusp, il n'y a que la singularité cusp qui soit de codimension 2 et il n'y a que deux grandes variantes globales : un chemin continu sans événements de conflit ou de bifurcation et un chemin avec un conflit encadré par deux bifurcations. Dans le cas de la figure 13 il y a en revanche 6 singularités de codimension 2 et le nombre de variantes devient important.

On peut ainsi dire que, si les singularités de codimension 1 sont les événements concaténés par les chemins syntagmatiques, les singularités de *codimension 2* sont, quant à elles, des *centres organisateurs de variantes*.

3. Paradigmes sémantiques et syntaxe actantielle

3.1. Externalisation et internalisation : les systèmes lents/rapides

Nous avons défini les « solutions » d'une structure élémentaire comme un chemin $C = f_{w(t)}(x)$ (en fait une classe d'homotopie) dans l'espace externe W du déploiement universel ($f_w(x)$, W, K) du potentiel générateur instable qui en est le centre organisateur. Mais un tel chemin est une trajectoire temporelle et il est donc naturel de se demander s'il ne peut pas être une trajectoire d'une dynamique « externe » définie dans l'espace externe W. Cette idée fondamentale introduite très tôt par Thom peut se préciser de la façon suivante.

L'idée est d'introduire *deux échelles* de temps, un temps « rapide » qui est celui des dynamiques de gradient internes $f_w(x)$ définies sur l'espace interne M de variable x et un temps « lent » qui est celui des dynamiques externes. La dynamique rapide envoie rapidement l'état interne transient sur un minimum et ensuite la dynamique lente déforme le potentiel f_w. Si la dynamique interne est infiniment rapide et la dynamique externe infiniment lente (ce que l'on appelle en thermodynamique une condition « d'adiabaticité ») on retrouve le déploiement ($f_w(x)$, W, K). Si l'opposition lent / rapide est moins extrême alors on a des dynamiques externes qui font évoluer lentement les minima et leur font traverser des conflits et des bifurcations.

Les systèmes lents / rapides abondent en physique et dans toutes les sciences naturelles. Ils sont très importants pour notre propos car ils permettent de développer une dialectique entre l'externalisation et l'internalisation. Un déploiement universel déploie les singularités dégénérées d'un potentiel instable et externalise son instabilité. Mais, réciproquement, l'introduction de dynamiques externes permet d'internaliser le déploiement dans une dynamique interne lente / rapide $f(x, w)$ définie sur le produit M X W de l'espace interne M par l'espace externe W. On pourra alors répéter la théorie à ce niveau, ce que nous avons commencé à faire avec les homotopies.

3.2. Les schèmes sémantico-syntaxiques intégrés et la conversion

Bien que déjà fort complexe, le schème de codimension 4 $\varnothing/X/Y/\varnothing$ est le modèle morphodynamique de complexité *minimale* que l'on doit utiliser si l'on veut rendre compte de la *conversion* des structures sémiques élémentaires de la sémantique fondamentale greimassienne en structures actantielles élémentaires de la syntaxe narrative. En effet, le noyau des structures actantielles étant la relation ternaire *S/O/S** sujet-objet-antisujet, sa *valence actantielle* est 3 et sa modélisation morphodynamique exige des potentiels à 3 minima séparés par 2 maxima (seuils). Les opérations syntaxiques fondamentales sont chez Greimas les opérations de jonction et, plus particulièrement, de conjonction $S \cap O$ ou de disjonction $S \cap O$ entre un sujet et un objet-valeur. Une conjonction $S \cap O$ est une « capture » de O par S et signifie que la strate K_O de bifurcation de O est suffisamment attractive. Une disjonction signifie qu'elle est répulsive ou qu'une autre strate est plus attractive. Les chemins dans l'espace externe attirés ou repoussés par K_O schématisent *l'intentionnalité* « désirante » du sujet S. C'est donc la « charge » + ou – *du seuil* qui donne sa valeur subjective à K_O. C'est pourquoi j'ai proposé de considérer que la conversion signifie que, dans le modèle actantiel, les sèmes investissent les seuils (les maxima) et les actants les minima. Par échange des minima et des maxima, le schème $\emptyset/X/Y/\emptyset$ du carré sémiotique qui a la forme globale d'un « anti-puits » devient le modèle actantiel *S/O/S** qui a la forme globale d'un « puits » où les minima sont occupés par les actants et les maxima (les seuils) par les valeurs-sèmes. Dans ce modèle intégré, la genèse $X/\emptyset$, $Y/\emptyset$ des sèmes correspond à l'apparition de l'objet-valeur *O*. La figure 14 montre une situation *S/O/S** générique.

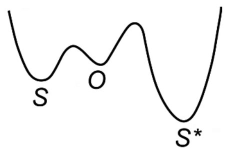

Figure 14

L'un des scénarios narratifs typiques associés à ce modèle est le *transfert* de l'objet d'un des sujets à l'autre. Il est représenté à la figure 15 où les deux minima principaux représentent les sujets et où l'on voit l'apparition de l'objet (disjonction initiale), son transfert et sa capture (conjonction finale).

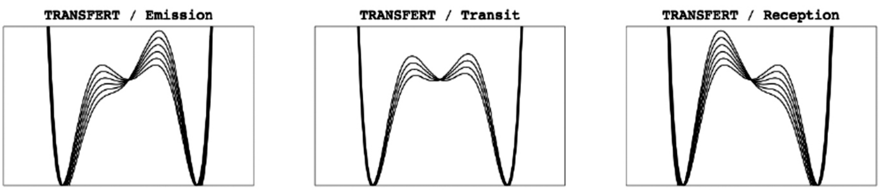

Figure 15

Mais, l'espace externe *W* étant de dimension 4, il existe une foule d'autres scénarios possibles et *W* comprend différentes zones sur lesquelles on peut se focaliser. La notion de variante englobe maintenant des classes d'équivalence de structures narratives (actantielles et sémiques) qualitativement très différentes. On peut par exemple se focaliser

(i) sur le pur conflit *S/S** (désir mimétique de René Girard) (figure 16) : ce n'est pas que les *S* et *S** sont en conflit pour l'acquisition du même objet *O* mais plutôt que l'un désire le désir de l'autre pour l'objet (ce qui est également assez lacanien).

(ii) sur la jonction *S*∩*O* (domination de *S** par *S* et arrachement de *O* à *S** par *S*) ou symétriquement *S**∩*O* (figure 17).

(iii) sur *O* avec un conflit *S/S** en arrière-fond devenu résiduel (figure 18).

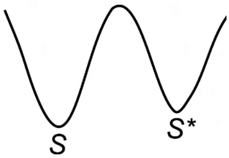

Figure 16

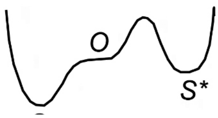

Figure 17

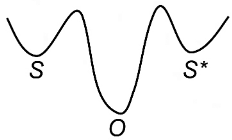

Figure 18

Pour en revenir à la métaphore moléculaire introduite plus haut, ces variantes sont un peu comme des « isomères » : la structure de base *S/O/S** reste la même mais les configurations géométriques sont différentes.

Différentes zones de focalisation sont indiquées à la figure 19 qui est une section très simplifiée de dimension 2 de *W* (qui est, rappelons-le, de dimension 4).

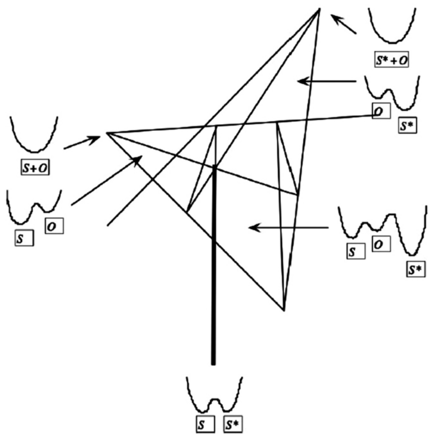

Figure 19

C'est ainsi que l'on peut rendre *génératives* les structures élémentaires. Le lecteur intéressé trouvera les détails dans *Morphogenèse du Sens* et dans *Physique du Sens* ainsi que dans l'article de René Thom « Structures cycliques en sémiotique » (1983, repris en 1990 dans *Apologie du Logos*).

4. La formule canonique du mythe de Claude Lévi-Strauss

Mais on peut aller nettement plus loin et passer du carré sémiotique de Greimas à la formule canonique du mythe (FCM) de Lévi-Strauss. En effet, tous les schèmes que nous venons de considérer déploient *une seule* opposition sémique de base. Mais souvent il y a *deux* oppositions sémiques en interaction, chacune définie sur un espace *interne* spécifique. Chacune est schématisée dynamiquement par un cusp et il faut donc *coupler* deux cusps. Pour ce faire il faut donc considérer des potentiels générateurs $f_w(x, y)$ à *deux* variables internes indépendantes et définir le déploiement universel du potentiel singulier instable $f_0(x, y)$ possédant une singularité cusp pour chaque variable interne. Cette singularité est appelée *double cusp*. Or, la théorie montre que le déploiement universel W de cette singularité organisatrice est de dimension 7 avec une *géométrie extrêmement compliquée*. Cela correspond à l'interprétation dynamique de la FCM. En prenant les classes d'équivalences de chemins dans W, on peut obtenir un nombre considérable de « solutions » de « l'équation » qu'est la FCM. Il est par conséquent justifié de faire l'hypothèse que la dynamisation de la formule canonique du mythe fournit une sorte *d'espace classifiant* pour les structures mythiques.

Le lecteur intéressé trouvera les détails dans nos papiers de 1988 et 2001 et dans le recueil *The Double Twist* édité par Pierre Maranda en 2001. Il trouvera aussi une remarquable analyse de la FCM dans l'ouvrage de Lucien Scubla *Lire Lévi-Strauss* de 1998.

5. Conclusion

Au cours des années 1980, le schématisme morphodynamique en sémiotique s'est approfondi dans plusieurs directions dont certaines l'ont ouvert à d'autres disciplines.

La première direction fut celle développée par Per Aage Brandt dans sa thèse d'État de 1992 à la Sorbonne : *La Charpente modale du sens.* L'apport principal pour la sémiotique fut de préciser l'intentionnalité des actants comme volonté d'induire des *dynamiques externes* dans les déploiements *W*, dynamiques engendrant des trajectoires dans les espaces de contrôle et donc des scénarios. Dans cette perspective, l'intentionnalité conçue comme *modalisation* des sujets consiste pour les sujets à se projeter dans des scénarios actantiels.

La seconde direction a concerné les liens avec la linguistique proprement dite et différents types de grammaires. Nous avons rappelé que la linguistique thomienne était proche de la syntaxe structurale de Tesnière. Nous l'avions très tôt reliée aux grammaires *casuelles* à la Fillmore (1977), aux grammaires *localistes* à la Anderson (1971), ainsi qu'aux grammaires relationnelles à la Comrie, Keenan, Perlmutter ou Postal (voir par exemple Cole, Sadock, 1977). De son côté, Wolfgang Wildgen avait considérablement approfondi l'approche morphodynamique des différentes théories linguistiques dans sa *Catastrophe Theoretic Semantics* de 1982. Quant à Per Aage Brandt, il avait, en plus de sa théorie modale, été le premier à faire le lien avec les grammaires cognitives américaines à la Langacker, Talmy, Jackendoff ou Lakoff.

Or ces approches cognitives s'ouvraient elles-mêmes à la psychologie cognitive et abordaient un problème central, celui des liens entre les structures profondes du langage et celles de la *perception* et de l'*action*, une thèse fondamentale étant que le langage est très récent sur le plan évolutionnaire et qu'il est fondé sur des ressources cognitives et sensori-motrices que nous partageons avec les primates. Un aspect de cette thèse, bien développé depuis très longtemps par les grammaires casuelles localistes, est que les cas fondamentaux sont enracinés dans les possibilités *d'interactions entre actants spatio-temporels*, interactions qui fournissent des scénarios perceptifs qui se trouvent dans un second temps typifiés, schématisés et grammaticalisés.

Pour développer ces idées, les linguistiques cognitives ont introduit une *iconicité profonde* du langage avec le concept d'*images-schèmes*. Quand on considère ces dernières, on constate facilement que les schèmes morphodynamiques les mathématisent et qu'il existe une convergence remarquable entre ces deux acceptions contemporaines de la notion de « schème ». C'est pourquoi, à partir du milieu des années 1980 et au cours des années 1990, nous nous sommes efforcés, comme Per Aage Brandt (par exemple 1994) et Wolfgang Wildgen (par exemple 2008), de situer la sémiotique structurale dans ce vaste contexte et d'en élargir les possibilités de modélisations. Tout un ensemble d'articles furent alors réunis dans un volume de synthèse mis en place lors de séjours au *Center for Semiotic Research* d'Aarhus. De délicats problèmes de simulations informatiques furent ensuite résolus, en particulier par René Doursat, qui nous aida grandement, ainsi que Franson Manjali de l'Université de New Dehli, pour l'édition anglaise. Le volume parut en 2011 chez Peter Lang sous le titre de *Cognitive Morphodynamics*. Le lecteur intéressé y trouvera de nombreux détails techniques. Il trouvera également un résumé dans l'article « The morphodynamical turn of cognitive semiotics » (2011b) paru dans un numéro de *Signata* organisé par Jean-François Bordron, l'un des sémioticiens ayant le plus approfondi le statut de l'iconicité (voir son ouvrage de référence, 2011).

NOTES

[1] Ce texte repose en partie sur mes exposés lors de l'année 2011-2012 de mon « Séminaire de Sémiotique » tenu à l'EHESS dans le cadre de ma chaire d'*Épistémologie des modèles*. Il est focalisé sur certains problèmes techniques de formalisation, certes limités mais riches d'enseignements théoriques. Il reprend une version plus détaillée qui a été publiée en 2014 dans *VS. Quaderni di studi semiotici*, n° 118, pp. 11-61.

[2] Pour donner un sens technique précis à cette expression, il faut introduire une topologie sur l'espace fonctionnel des potentiels ainsi qu'une relation d'équivalence « avoir le même type qualitatif ». Il s'agit là de constructions mathématiques très techniques dont le lecteur intéressé trouvera un résumé dans la compilation (Petitot, 1982a).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDERSON, John Mathieson (1971), *The Grammar of Case. Towards a Localistic Theory*, Cambridge, Cambridge University Press.

BERGEN, Benjamin K., CHANG, Nancy C. (2000), « Spatial Schematicity of Prepositions in Neural Grammar », *Fifth International Conference on Conceptual Structure, Discourse and Language*, University of California at Santa Barbara, disponible sur : http://www1.icsi.berkeley.edu/~nchang/pubs/BergenChang.pdf.

BLAKEMORE, Sarah-Jayne, DECETY, Jean (2001), « From the perception of the action to the understanding of intention », *Nature Reviews Neuroscience*, n° 2, pp. 561-567.

BORDRON, Jean-François (2011), *L'Iconicité et ses images*, Paris, Presses Universitaires de France.

BOUDON, Pierre (1999 et 2002), *Le Réseau du sens, une approche monadologique pour la compréhension du discours*, 2 vol., Berne, Peter Lang.

BRANDT, Per Aage (1992), *La Charpente modale du Sens*, Amsterdam, Benjamins.

BRANDT, Per Aage (1994), « Pour une phrastique intégrale », *Sémiotiques*, n° 6-7, pp. 121-136.

BUNDGAARD, Peer F., PETITOT, Jean (dir.) (2011), *Aesthetic Cognition*, *Cognitive Semiotics*, Berne, Peter Lang.

COLE, Peter, SADOCK, Jerrold M. (dir.) (1977), *Grammatical Relations. Syntax and Semantics*, New York, Academic Press.

COQUET, Jean-Claude (2007), *Phusis et Logos : une phénoménologie du langage*, Paris, Presses Universitaires de Vincennes.

DARRAULT-HARRIS, Ivan (dir.) (2011), « Phénoménologie et Sémiotique. Débat entre J. Cl. Coquet et J. Petitot », *Actes sémiotiques*, n° 114, disponible sur : http://epublications.unilim.fr/revues/as/2734.

DESCLÉS, Jean-Pierre (1990), *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*, Paris, Hermès.

DOURSAT, René (2005), « Dynamical systems and cognitive linguistics : toward an active morphodynamical semantics », *Neural Networks*, n° 18, pp. 628-638.

FILLMORE, Charles J. (1977), « The Case for case reopened », *Syntax and Semantics*, vol. 8, pp. 59-81.

GREIMAS, Algirdas Julien, COURTÉS, Joseph (1979), *Sémiotique : dictionnaire raisonné de la théorie du langage*, Paris, Hachette.

HAIMAN, John (dir.) (1985), *Iconicity in Syntax*, Amsterdam, Benjamins.

HERSKOVITS, Annette (1986), *Language and Spatial Cognition. An Interdisciplinary Study of the Prepositions in English*, Cambridge, Cambridge University Press.

JACKENDOFF, Ray (1987), *Consciousness and the Computational Mind*, Cambridge (Mass.), the MIT Press.

KOSSLYN, Stephen M. (2006), « You can play 20 questions with nature and win. Categorical versus coordinate spatial relations as a case study », *Neuropsychologia*, n° 44, pp. 1519-1523.

LAKOFF, George, JOHNSON, Mark (1999), *Philosophy in the Flesh. The Embodied Mind and its Challenge to Western Thought*, New York, Basic Books.

LANGACKER, Ronald W. (1994), « Structural Syntax. The View from Cognitive

Grammar », *Sémiotiques*, n° 6-7, pp. 69-84.
LÉVI-STRAUSS, Claude (1958), *Anthropologie structurale*, Paris, Plon.
LÉVI-STRAUSS, Claude (1988), *De près et de loin*, Paris, Odile Jacob.
LÉVI-STRAUSS, Claude (1993), *Regarder, écouter, voir*, Paris, Plon.
MANDLER, Jean Matter (2004a), *The Foundations of Mind. Origins of Conceptual Thought*, Oxford, Oxford University Press.
MANDLER, Jean Matter (2004b), « Thought before language », *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, n° 11, pp. 508-513.
MARANDA, Pierre (dir.) (2001), *The Double Twist. From Ethnography to Morphodynamics*, Toronto, University of Toronto Press.
PETITOT, Jean (1979), « Hypothèse localiste et Théorie des Catastrophes », dans PIATTELLI, Massimo (dir.), *Théories du langage, théories de l'apprentissage*, Paris, Le Seuil, pp. 516-524.
PETITOT, Jean (1982), *Éléments de théorie des singularités*, disponible sur: http://jeanpetitot.com/ArticlesPDF/Petitot_Sing.pdf.
PETITOT, Jean (1985), *Morphogenèse du sens*, Paris, Presses Universitaires de France.
PETITOT, Jean (1988), « Approche morphodynamique de la formule canonique du mythe », *L'Homme*, vol. 106-107, n° 2-3, pp. 24-50.
PETITOT, Jean (1989a), « Hypothèse localiste, Modèles morphodynamiques et Théories cognitives. Remarques sur une note de 1975 », *Semiotica*, vol. 77, n° 1-3, pp. 65-119.
PETITOT, Jean (1989b), « Catastrophe Theory and Semio-Narrative Structures », dans PERRON, Paul, COLLINS, Frank (dir.), *Paris School of Semiotics*, Amsterdam, Benjamins, pp. 177-212.
PETITOT, Jean (1991), « Syntaxe topologique et Grammaire cognitive », *Langages*, n° 103, pp. 97-128.
PETITOT, Jean (1992), *Physique du Sens*, Paris, CNRS éditions.
PETITOT, Jean (1995a), « Morphodynamics and Attractor Syntax. Dynamical and morphological models for constituency in visual perception and cognitive grammar », dans PORT Robert F., GELDER Timothy van (dir.), *Mind as Motion*, Cambridge (Mass.), the MIT Press, pp. 227-281.
PETITOT, Jean (1995b), « Approche morphodynamique de l'iconicité des stemmas », dans MADRAY-LESIGNE, Françoise et RICHARD-ZAPELLA, Jeannine (dir.), *Lucien Tesnière aujourd'hui*, Louvain, Peeters, pp. 105-112.
PETITOT, Jean (1999), « La généalogie morphologique du structuralisme », *Critique*, n° 620-621, pp. 97-122.
PETITOT, Jean (2001), « A Morphodynamical Schematization of the Canonical Formula for Myths », dans MARANDA, Pierre (dir.), Toronto, University of

Toronto Press, pp. 267-311.

PETITOT, Jean (2011a), *Cognitive Morphodynamics*, Bern, Peter Lang.

PETITOT, Jean (2011b), « The Morphodynamical Turn of Cognitive Semiotics », *Signata*, n° 2, pp. 61-80.

PIOTROWSKI, David (2009), *Phénoménalité et objectivité linguistiques*, Paris, Champion.

SCUBLA, Lucien (1998), *Lire Lévi-Strauss*, Paris, Odile Jacob.

TALMY, Leonard (2000), *Toward a Cognitive Semantics*, 2 vol., Cambridge (Mass.), the MIT Press.

THOM, René (1972), *Stabilité structurelle et morphogenèse*, Paris / New York, Benjamin / Ediscience.

THOM, René (1980), *Modèles mathématiques de la Morphogenèse*, Paris, Christian Bourgois.

THOM, René (1988), *Esquisse d'une sémiophysique*, Paris, InterEditions.

THOM, René (1990), *Apologie du Logos*, Paris, Hachette.

VINCENSINI, Jean-Jacques (1996), *Pensée mythique et narrations médiévales*, Paris, Champion.

WILDGEN, Wolfgang (1982), *Catastrophe Theoretic Semantics*, Amsterdam, Benjamins.

WILDGEN, Wolfgang (2008), *Kognitive Grammatik*, Berlin / New York, Walter de Gruyter.