

Espace et horizon de réalité

Philosophie mathématique de Ferdinand Gonseth

sous la direction de

Marco PANZA

Jean-Claude PONT

MASSON Paris Milan Barcelone Bonn **1992**

Schématisme, sciences cognitives et physique mathématique : hommage à Ferdinand Gonseth

Jean PETITOT

Je suis d'autant plus heureux de participer à cet hommage à Ferdinand Gonseth que je le tiens non seulement pour l'un des plus éminents philosophes des sciences de notre siècle, mais aussi pour l'un des philosophes *les plus actuels*.

Je placerai par conséquent mon intervention sous le signe de *l'actualité* de Gonseth. Je le ferai en prenant pour fil directeur *le concept de schématisme*. Comme il existe *deux types* de schématisme : le schématisme *empirique* et le schématisme *transcendantal*, je diviserai mes commentaires en deux parties.

I. Le schématisme des concepts empiriques et la réalité du langage naturel

Les courants les plus innovateurs *des sciences cognitives* contemporaines confirment, au-delà de tout ce que l'on pourrait croire, le bien fondé de la conception schématique du langage développée par Gonseth. La proximité va même parfois jusqu'à la communauté de lexique comme, par exemple, dans l'emploi de la notion centrale *d'idée-schème*.

1.1. Rappels sur quelques thèses de Ferdinand Gonseth

Je rappelle d'abord certaines thèses bien connues de Ferdinand Gonseth sur la nature des concepts tels qu'ils sont exprimés par les langues naturelles.

Première thèse — *La nécessité de développer une science naturelle des concepts conçus comme phénomènes naturels, i.e. « une théorie naturelle des idées »¹.*

Cette thèse se trouve affirmée de façon particulièrement claire par Gonseth dans sa double critique du *réalisme platonicien* et du *logicisme* : ce que les réalistes platoniciens et les logicistes refusent d'admettre c'est « qu'on puisse assimiler la théorie des idées à la théorie d'un phénomène naturel ». Or, selon Gonseth, une « bonne phénoménologie » devrait inclure « l'idée d'une science naturelle des vérités élémentaires pratiquement assurées »². D'où, selon lui, la légitimité d'une « *physique rudimentaire naïve* » dans laquelle

[...] nos impressions sensorielles seraient directement interprétées comme les symptômes évidents de *réalités pratiquement assurées*.³

Autrement dit, notre connaissance se révèle inséparable « d'événements qui relèvent de la physique intuitive et naïve ».

On peut, par conséquent, considérer Gonseth comme *le précurseur* de ce thème scientifique fondamental, actuellement en pleine expansion, qu'est *la physique naïve et/ou qualitative*.

Deuxième thèse — *L'importance de la précompréhension du réel fournie par l'expérience de la Lebenswelt et l'importance de la connaissance intuitive anté-prédicative et pré-réflexive.*

C'est sur cette thèse que se concentre le rapport de la pensée gonsethienne à la phénoménologie, rapport toutefois ambigu dans la mesure où, selon Gonseth, la phénoménologie husserlienne donne à de bonnes questions des réponses qui sont inappropriées puisque essentialistes et idéalistes. Gonseth a souvent insisté sur le fait qu'il existe un fond immense d'expérience constitué par les « éléments de la connaissance intuitive de la complexité du réel », éléments d'une connaissance imparfaite mais fondamentale, approchée mais juste.

Troisième thèse — *Le caractère schématique du sens opératoire des concepts de la langue naturelle.*

Les concepts du sens commun et de la compréhension intuitive ont un sens non pas vague mais « *sommaire* ». Cette nature schématique est la condition même « pour que

¹ Cf. [1936a], p. 30.

² Cf. *ibid.*, p. 62.

³ Cf. *ibid.*.

ce sens soit pratiquement assuré ». Les concepts naturels sont *justes* parce que pratiquement sûrs pour la vie ordinaire⁴.

Les objets qui peuplent nos pensées sont des schèmes inachevés encore profondément engagés dans la vie instinctive de l'âme.⁵

De tels concepts-schémas sont exprimés par le langage et le rapport entre une langue naturelle et la réalité *n'est donc pas*, selon Gonseth, un rapport d'adéquation, de correspondance prédonnée entre un réel absolu et une pensée immuable. Il n'est pas vrai que derrière chaque mot — substantif, adjectif ou verbe — il existe une essence objective — substance, qualité ou procès — bien définie. Le langage naturel *est pragmatiquement efficace* parce qu'il est *schématique*, parce que, en tant que réalité mentale, le sens est toujours plus ou moins complet et la réalité physique plus ou moins imparfaite. On n'a donc pas à chercher à épurer et à corriger le langage naturel, à éliminer son caractère schématique, pour essayer d'en faire le véhicule d'essences idéales univoques, universelles et transcendantes. Il n'existe en effet « aucun appui d'ordre absolu » de ce genre dans le langage naturel⁶.

Quatrième thèse (approfondissant la troisième) — *Le rôle des formes intuitives schématiques.*

L'idée est que notre rapport au monde est médiatisé par un certain nombre (restreint) *de champs de moments de conscience*. Ces champs constituent des « totalités mentales auxquelles il faut attribuer une existence objective et une certaine structure ». Ils se manifestent comme *formes intuitives de réalité*⁷. Citons-en quelques-uns.

1. L'ESPACE. Parmi ces champs, *l'espace* jouit évidemment d'une situation privilégiée (et sur ce point Ferdinand Gonseth reste profondément kantien).

L'espace sensible, l'espace de nos représentations est une réalité purement mentale : c'est quelque chose comme la trace sur notre conscience actuelle du champ virtuel des moments de conscience.⁸

C'est une forme de l'intuition, une « forme intuitive » identifiable au « complexe de tous les moments de conscience actuels ou virtuels relatifs à l'idée d'espace »⁹.

2. L'OBJET. Comme autre forme intuitive fondamentale, Gonseth dégage la notion schématisante *d'objet* « désignant une certaine qualité physique macroscopique »¹⁰ et possédant les caractères fondamentaux de *forme*, de *localisation* et de *stabilité*.

⁴ Cf. *ibid.*, p. 11.

⁵ Cf. *ibid.*, p. 17.

⁶ Cf. *ibid.*, pp. 34-7.

⁷ Cf. *ibid.*, p. 63.

⁸ Cf. *ibid.*.

⁹ Cf. *ibid.*.

¹⁰ Cf. *ibid.*, p. 156.

L'objet est une forme naturelle de notre intuition.¹¹

A ce propos, il insiste sur le fait que des lois logiques (la logique étant selon lui, on le sait, « la physique de l'objet quelconque ») comme les principes d'identité, de tiers exclu et de contradiction, deviennent déductibles de l'objet quelconque si l'on identifie "être" avec "être quelque part"¹². Il insiste également sur l'importance cruciale de la désignation d'un objet quelconque (individué) par un *symbole littéral* : A, x, etc. Cette désignation effectue le passage de l'intuition spatiale au symbolisme formel :

[...] on passe de la présence à l'être en laissant tomber dans l'oubli tout ce qui pourrait rappeler une localisation plus ou moins déterminée.¹³

3. LES QUALITÉS SENSIBLES. Encore une autre forme intuitive de la réalité est fournie par les qualités sensibles comme la couleur.

Le complexe des moments de conscience reliés au phénomène couleur, sera dit aussi *la forme intuitive relative à la couleur*.¹⁴

La couleur n'est pas seulement sensation et perception. C'est une forme de la réalité conçue dans sa manifestation phénoménologique.

La couleur est une forme de notre aperception.¹⁵

C'est un « ensemble de virtualités inscrites dans notre être mental » avec une structure interne. Elle constitue une totalité mentale, à savoir la forme intuitive de la couleur.

Et la structure schématique sommaire de ces formes de *donation* phénoménale est constitutive de la structure objective de la réalité externe.

Les formes intuitives peuvent être comparées à des représentations partielles et schématiques d'une réalité qui, d'ailleurs, ne nous est pas donnée autrement. Elles nous fournissent les premiers éléments pour la construction de toute réalité.¹⁶

Ce sont des « instruments mentaux », des formes primaires dans lesquelles *se présente* la connaissance — la présentation étant une *Darstellung* et non pas une *Vorstellung*.

Cinquième thèse — *L'objet n'est pas l'objet aristotélicien servant de base à la logique élémentaire, mais l'objet gœthéen — l'objet type —, les types étant des « modèles intuitifs » et des schèmes.*

¹¹ Cf. *ibid.*, p. 171.

¹² Cf. *ibid.*, pp. 163-64.

¹³ Cf. *ibid.*, p. 204.

¹⁴ Cf. *ibid.*, p. 64.

¹⁵ Cf. *ibid.*

¹⁶ Cf. *ibid.*, p. 66.

L'appartenance d'un objet à une classe extensive n'est pas définie, selon Gonthier, par des propriétés distinctives, par des conditions nécessaires et suffisantes. Elle est définie par sa plus ou moins grande « conformité » à un certain *modèle intuitif*¹⁷, la conformité à un type possédant le statut d'une *loi naturelle*. Les prototypes, les « types communs » sont plastiques, qualitatifs et l'objet gonthiéen est « l'objet considéré comme déterminé par la conformité à son type »¹⁸. C'est pourquoi les types « forment en quelque sorte l'armature de la pensée ordinaire »¹⁹. Et Gonthier s'étonne, à juste titre, du fait surprenant que la notion de type n'ait, pendant si longtemps, joué aucun rôle dans la spéculation « rationnelle »²⁰. Il insiste sur le fait que la typicalité est une donnée irréductible de notre activité mentale :

Conçue d'abord à propos des objets concrets [la notion de type] a tendance à s'étendre à tout ce qui peut s'objectiver, et à gravir, comme l'idée d'objet, toute l'échelle des abstraits. Il faut accepter comme un fait que notre activité mentale soit ainsi orientée ! [noter le !]. C'est ce que nous exprimons aussi en disant que : l'objet et le type sont des formes de notre intuition.²¹

Sixième thèse — *Notre structure mentale s'accorde à celle des phénomènes naturels par une concordance schématique, c'est-à-dire par analogie.*

Notre entendement est engagé dans la discipline des analogies au moins autant que dans le schème causal : l'analogie peut prendre place au rang des catégories préalables de l'entendement.²²

L'idée est donc que, pour que l'action soit efficace, les « règles intrinsèques de l'entendement » doivent avoir pour corrélats extérieurs des « lois » des sciences naturelles. Gonthier remplace ainsi la conception de la vérité comme adéquation et correspondance par un *principe d'analogie*, c'est-à-dire par un *principe de concordance schématique*.

Toute analogie authentique établit entre les deux termes qui y figurent, un lien de fait, aussi valablement réel et physiquement efficace que la relation de cause à effet²³.

Septième thèse — *Il faut critiquer les philosophies logicistes, la phénoménologie essentialiste (platonicienne) et, plus généralement, la croyance à des notions « éternellement fixées » et à des concepts « préalablement et exactement délimités »*²⁴.

Dans la phénoménologie husserlienne en particulier, Gonthier dénonce la subordination du langage à une logique symbolique qui en épure la syntaxe et à une doctrine d'es-

¹⁷ Cf. *ibid.*, p. 193.

¹⁸ Cf. *ibid.*, p. 196.

¹⁹ Cf. *ibid.*, p. 199.

²⁰ Cf. *ibid.*, p. 195.

²¹ Cf. *ibid.*, p. 198.

²² Cf. *ibid.*, p. 306.

²³ Cf. *ibid.*, p. 308.

²⁴ Cf. *ibid.*, p. 28.

sences idéales qui en constitue le sens, ces essences étant hiérarchisées par une dialectique généralisation/spécialisation remontant de différences spécifiques irréductibles (de singularités eidétiques ultimes dirait Husserl) jusqu'à des genres maximaux²⁵. Il dénonce l'idée que la connaissance soit « une construction à la fois verbale, logique et essentielle de la réalité, à partir des moments et de ses qualités élémentaires ; et plus généralement à partir des données immédiates de l'intuition »²⁶.

Il n'est pas possible de déduire verbalement ou rationnellement toute la connaissance de quelques notions premières²⁷.

1.2. Les thèses de Ferdinand Gonthier et les sciences cognitives

Des thèses en tous points analogues ont été redécouvertes, reformulées et confirmées par les sciences cognitives contemporaines. Evidemment, dans les sciences cognitives il ne s'agit plus de réflexions philosophiques mais de sciences, à savoir de neurosciences, de psychologie cognitive, de linguistique cognitive, de modèles mentaux simulés sur ordinateurs, de modèles physico-mathématiques des états, actes et processus mentaux, etc.. Mais la convergence avec la pensée gonthierienne reste néanmoins étonnante et remarquable.

1.2.A. Les sciences cognitives comme sciences naturelles du mental

D'abord les sciences cognitives possèdent, par définition, le statut de *sciences naturelles du mental* : elles se proposent d'étudier les représentations mentales, les états et les actes mentaux en tant que phénomènes et processus naturels.²⁸

Quelques caractères généraux des sciences cognitives

1. Généralités

Dans leur définition la plus générale, les sciences cognitives concernent l'étude des systèmes intelligents, qu'ils soient biologiques ou artificiels. Elles entretiennent à ce titre des rapports étroits avec l'intelligence artificielle. Mais elles concernent surtout *l'intelligence biologiquement implémentée* (i.e. avec les contraintes de l'évolution)²⁹.

Elles approchent en termes de sciences naturelles les phénomènes, les structures, les actes et les processus mentaux constitutifs de facultés et d'objets comme la représentation (problème de l'existence, du statut, de la fonction des représentations mentales),

²⁵ Cf. *ibid.*, p. 41.

²⁶ Cf. *ibid.*, p. 60.

²⁷ Cf. *ibid.*.

²⁸ Cf. la première thèse ci-dessus.

²⁹ Pour des précisions sur les problèmes de base des sciences cognitives, cf. le dossier RS (1990) et Petitot (1990e) [les références indiquées par un nom suivi d'une date entre parenthèses renvoie à la bibliographie insérée à la fin du présent article].

l'intentionnalité (problème de la capacité qu'ont les représentations de référer à l'environnement), le raisonnement (développement de systèmes formels modélisant correctement les processus psychologiques du raisonnement naturel : logiques floues, non monotones, etc.), la nature des concepts (problème des rapports concept-percept, catégorisation, schèmes, prototypes), l'apprentissage (développement de théories formelles), la communication (conçue comme transmission verbale et non verbale de représentations), l'architecture fonctionnelle de l'esprit (systèmes périphériques modulaires et systèmes centraux non modulaires, hypothèse fonctionnaliste, modèles connexionnistes). Il s'agit donc de donner des réponses *scientifiques* aux problèmes posés par l'étude des phénomènes mentaux (scientifique signifiant expérimentation, simulation informatique et modélisation mathématique). On pourrait adopter pour slogan : « les sciences de l'esprit sont des sciences *naturelles* » (sans réductionnisme physicaliste).

On voit alors immédiatement apparaître de délicats problèmes dont la difficulté (en plus des difficultés techniques intrinsèques) est due au fait que ces questions appartiennent à des domaines de scientificité et à des types d'objectivité considérés jusqu'ici comme *étrangers* les uns aux autres. Trois types d'objectivité (au moins) sont à unifier :

- 1) l'objectivité *physique externe*, constitutive du monde externe (physique des signaux visuels et acoustiques, etc.) ;
- 2) l'objectivité physique interne, *neuronal-informationnelle*, constitutive de la structure et du fonctionnement des dynamiques cérébrales ;
- 3) l'objectivité *logico-symbolique*, constitutive des structures syntaxiques et sémantiques des systèmes symboliques et des langages formels en général.

Or ces trois objectivités sont fortement hétérogènes entre elles. En particulier, il existe un véritable dualisme entre le physique et le symbolique. Comment donc accéder à une théorie naturaliste unifiée ? Il faut arriver pour cela à remplacer la structure *logique* des contenus par des phénomènes *physiques* d'auto-organisation.

2. Domaines, niveaux, points de vue des sciences cognitives

Les divers champs des sciences cognitives s'organisent de la façon suivante.

- 4 domaines de base : la *perception* (vision, audition), le *langage*, l'*inférence* (déduction, induction, détection de régularités et prise de décisions en situation d'incertitude), l'*action* (mouvements du corps, coordination motrice, etc.). Ils sont liés à autant de disciplines technologiques correspondantes : machines perceptives, reconnaissance et compréhension de la parole et du langage (systèmes experts, systèmes d'apprentissage), robotique, etc.

- 4 niveaux d'analyse : *biologique* (neurophysiologie), *psychologique* (processus fonctionnels de détection, de représentation, de mémoire et de stockage d'informations ainsi que leur utilisation dans des activités finalisées), *computationnel* (modèles algorithmiques), *mathématique*.

- 2 points de vue : — le point de vue *temporel* du développement : émergence des compétences, acquisition, apprentissage, passage d'un état initial inné à un état adulte stabilisé dans son activité fonctionnelle.

— le point de vue de l'*état final* : état adulte stabilisé.

D'où l'existence de très nombreux champs, comme par exemple le développement biologique du système visuel, la formalisation de la compétence grammaticale adulte, etc.

3. Quelques problèmes concernant les représentations mentales

Il s'agit donc de reprendre les problèmes concernant les représentations mentales en termes de sciences naturelles, à bases physiques et biologiques. Citons quelques-uns de ces problèmes.

- *L'existence des représentations mentales.* Le mentalisme représentationnel (théorie représentationnelle de l'esprit) s'oppose à l'éliminativisme physicaliste³⁰. Entre les deux points de vue on trouve des positions heuristiques comme, par exemple, celle de Daniel Dennett : les concepts de représentation mentale et d'intentionnalité sont nécessaires à la *description* et à l'*anticipation* des comportements de certaines machines cognitives biologiques, mais ils n'ont pas pour autant de réalité *objective* (cf. la problématique philosophique kantienne classique du *als ob*, développée dans la *Critique de la faculté de juger* à propos de l'organisation biologique).

- *Le statut des représentations mentales* (à supposer qu'elles existent) : sont-elles exclusivement logiques (expressions symboliques possédant la structure et le format propositionnels d'un langage interne) ou aussi topologiques (images mentales)³¹.

- *La fonction des représentations mentales* : comment traitent-elles l'information ?

- *La syntaxe et la sémantique des représentations mentales* : comment réfèrent-elles ?

- *Le type de causalité opérant sur les représentations mentales* : la causalité est-elle purement *syntactique* comme dans les ordinateurs, ou au contraire le contenu peut-il avoir une efficacité causale en tant que tel. Il s'agit là du problème philosophique central de la *finalité intentionnelle* comme cause d'action. Agissons-nous, comme le croit la psychologie naïve, en fonction d'attitudes propositionnelles (vouloir, désirer, croire, etc.) portant sur des propositions ? Le *contenu* des représentations peut-il agir causalement sur les comportements ? Et est-ce le contenu *étroit* (ne dépendant que des relations entre représentations) ou *large* (incluant un rapport intrinsèque à l'environnement) qui intervient ?

- *La nature des concepts* : à la conception logique extensionnelle s'oppose, comme une alternative, la conception des concepts comme catégories, schèmes, instructions applicatives, prototypes. Comment *mathématiser* les dimensions non strictement logiques (par exemple les phénomènes de typicalité) ?

- *Le raisonnement naturel / les normes logiques du raisonnement logique.* Comment expliquer puis modéliser les écarts systématiques observés entre ces deux aspects du raisonnement (logiques floues, logiques non monotones ne s'appliquant qu'à des situations génériques et pouvant tenir compte d'exceptions qui, ajoutées comme hypothèses, changent les inférences) ?

- *L'architecture des machines cognitives* : systèmes périphériques modulaires, systèmes centraux non modulaires, etc. Comment concevoir la relation entre les « bas »

³⁰ Cf. plus bas.

³¹ Cf. plus bas.

niveaux (dynamiques, associationnistes, connexionnistes) et les « hauts » niveaux (formels, inférentiels et symboliques) ?

Le dualisme symbolique / physique

1. Le paradigme classique — dit *symbolique* — des sciences cognitives actuelles est computationnel, symbolique et fonctionnaliste³².

a) Il postule d'abord l'existence de représentations mentales neurologiquement implémentées (et donc physiquement réalisées) dans des états neuronaux. Il s'oppose sur ce point aux positions réductionnistes éliminativistes et physicalistes qui considèrent que les représentations mentales ne sont que des artefacts de la description psychologique et ne possèdent pas d'existence objective en tant que telles³³.

b) Il postule ensuite que ces représentations mentales sont de nature symbolique, c'est-à-dire qu'elles appartiennent à un langage mental interne (le « mentalais » de Fodor) possédant la structure d'un langage formel (avec ses symboles, ses expressions, ses règles d'inférences, etc.). Il s'oppose sur ce point aux conceptions qui estiment qu'un certain nombre de résultats expérimentaux (par exemple sur les rotations d'images mentales) plaident en faveur de représentations mentales *topologico-géométriques* non propositionnelles³⁴.

c) Il postule enfin que, comme en informatique, on peut découpler les problèmes de *hardware* de ceux de *software* et que les représentations mentales symboliques sont, en ce qui concerne leur structure formelle et leur contenu informationnel, indépendantes de leur implémentation dans leur substrat physique (magnétique, neuronal, etc.). Il s'oppose sur ce point aux conceptions *émergentielles* qui considèrent au contraire que l'on doit concevoir ces structures formelles comme des structures stables émergeant de processus dynamiques, coopératifs et statistiques sous-jacents³⁵. Une épistémologie de l'émergence interroge dans le paradigme symbolique une conception « descendante » (*top-down* en jargon) du traitement de l'information et lui oppose une conception dynamique « ascendante » (*bottom up* en jargon).

Pour le paradigme symbolique les sciences cognitives doivent par conséquent se fonder dans une théorie computationnelle des manipulations formelles de représentations symboliques. Ces représentations traitent de l'information, et en particulier de l'information issue du monde extérieur. Elles peuvent acquérir ainsi un contenu sémantique. Mais la causalité naturelle des opérations qui agissent sur elles et leur permettent d'agir (par exemple sur des comportements à travers des contenus intentionnels d'attitudes propositionnelles) est une causalité strictement formelle et syntaxique. Autrement dit, en tant qu'états et processus mentaux, elles sont fermées à leur sémantisme³⁶.

³² Pour une introduction à ce paradigme, cf. les dossiers *Le Débat* (1987) et *Préfaces* (1988).

³³ Cf. par exemple Churchland (1984).

³⁴ Cf. Kosslyn (1980) et Shepard-Cooper (1982).

³⁵ Cf. Thom (1972) et (1980), Zeeman (1977), PDP (1986), Smolensky (1988), Petitot (1989c), (1989e), (1990e), (1991c) et (1990e).

³⁶ Pour des précisions, cf. en particulier Fodor (1984) et Pylyshyn (1986).

2. Le mentalisme computationnel du paradigme classique est inséparable, en ce qui concerne l'information servant d'input aux calculs mentaux, d'un objectivisme physico-standard. Selon ce dernier, ce qu'il y a d'objectif dans l'environnement se réduit à ce qu'enseigne la physique fondamentale standard : atomes, rayonnement, ondes sonores, etc. On en arrive ainsi à un véritable *dualisme* (fortement réminiscent des dualismes philosophiques traditionnels) entre *le symbolique et le physique*³⁷. Dans son ouvrage de référence « *Computation and Cognition* », Zenon Pylyshyn³⁸ a excellemment exposé celui-ci. L'information externe étant conçue de façon physico-standard, elle est *a priori sans signification* pour le système cognitif. Elle se trouve soumise à une transduction par des modules périphériques (ces modules comprennent les récepteurs sensoriels comme la rétine ou la cochlée mais peuvent se prolonger à des transducteurs compilés), transduction qui la convertit en information interne (fréquences de *firing* de neurones) computationnellement significative. Il existe évidemment une corrélation causale nomologiquement descriptible entre l'information physique externe et l'information computationnelle interne produite par la transduction. Mais cela n'implique pas pour autant l'existence d'une science nomologique du rapport *significatif* que le sujet entretient avec son environnement. D'une part en effet, la transduction décrite physiquement et causalement est cognitivement opaque. Sa fonction est non symbolique. Elle fait partie de l'architecture fonctionnelle qui contraint formellement la structure des algorithmes mentaux. D'autre part, la signification est le résultat des opérations effectuées par les représentations mentales symboliques et celles-ci ne sont pas causalement déterminées par le contenu physique objectif des états de choses externes. D'où, selon Pylyshyn, un dualisme physico-symbolique strict. Il existe une coupure irréductible entre le cognitif interne et le physique externe. Il existe un langage physique universel, cohérent et unificateur, composé de termes physiques. Mais il n'existe pas de descriptions physiques, dans ce langage, de ce qui est significatif dans l'environnement pour un sujet cognitif³⁹. Il faut donc disposer de concepts perceptuels et cognitifs fonctionnels. Mais ceux-ci sont *sans* contenu physique. Le lexique physique et le lexique cognitif ne s'appartiennent pas naturellement. Ils ne sont compatibles qu'à travers les transductions.

On remarquera que de telles affirmations ne sont acceptables que sous certaines hypothèses :

- a) ce qui existe d'objectif dans l'environnement se réduit à ce que décrit la physique fondamentale standard ;
- b) ce qui est significatif doit, pour être significatif, être au préalable représenté ;
- c) la représentation s'identifie à un calcul : l'esprit est computationnel.

3. Comme l'ont noté de nombreux auteurs (Putnam, Searle, Dreyfus, etc.), deux grands problèmes demeurent énigmatiques et irrésolus dans le paradigme classique.

a) Du côté du sujet, le problème *du sens et de l'intentionnalité*. Comment des représentations mentales symboliques peuvent-elles acquérir un sens, une interprétation, une dénotation, une orientation intentionnelle vers le monde externe ? Comment un système cognitif peut-il agir en fonction du sens des symboles et des expressions symboliques

³⁷ Cf. *plus haut*, par. 1.1..

³⁸ Cf. Pylyshyn (1986).

³⁹ Cf. Petitot (1990e).

alors qu'il ne possède de relations causales qu'avec la forme (logico-syntaxique) de ceux-ci ? Il ne suffit pas de dire que le sens est le résultat d'une « interaction » sujet-monde puisque cette interaction n'est pas nomologiquement descriptible et explicable.

b) Du côté du monde, le problème de la manifestation qualitative et morphologique des phénomènes, celui de la physique qualitative. Comme R. Jackendoff y a beaucoup insisté, on ne peut se borner à poser que le monde phénoménologique de l'expérience est un simple résultat des opérations de « l'esprit computationnel »⁴⁰. Encore faut-il comprendre la part de ces opérations, en général opaques à la conscience phénoménologique, qui se trouve devenir constitutive de la structuration qualitative du monde en choses, états de choses, événements, processus, etc., perceptivement appréhendables et linguistiquement descriptibles. En effet, le processus computationnel est inconscient. Seules quelques-unes des structures qu'il produit sont conscientes. On peut alors adopter un point de vue « projectiviste » faisant du monde phénoménologique un monde « projeté » résultant d'une « projection » de constructions cognitives, poser que la plus grande partie de la structure interne des constituants du langage mental (ce que Jackendoff appelle la « structure conceptuelle ») n'est pas projetable et faire de la « conscience » phénoménologique (différente, donc, de l'esprit computationnel) le corrélat (en un sens proche de celui de la corrélation noëse/noème chez Husserl) de ce monde projeté (c'est le « *Mind-Mind problem* »). Mais on peut également utiliser les résultats scientifiques théoriques et expérimentaux qui démontrent l'existence de structures morphologiques et qualitatives *objectives émergentes*, par un processus dynamique (auto)organisateur, des substrats physiques. Ce point de vue proprement « *morphogénétique* » de la physique qualitative s'oppose au point de vue « *morpho-projectif* ». Il prend appui sur l'existence démontrée d'un niveau de réalité morphodynamique où la réalité physique s'exprime phénoménologiquement à travers un processus *naturel* de *phénoménalisation* des substrats matériels.

Le paradigme connexionniste

A ce paradigme classique s'oppose le paradigme morphodynamique et connexionniste, dit aussi sub-symbolique, qui développe les idées suivantes⁴¹.

1) Le niveau connexionniste morphodynamique n'est pas le niveau symbolique mais il n'est pas non plus le niveau neuronal. Il ne concerne pas l'implémentation d'algorithmes cognitifs dans des machines massivement parallèles mais bien la structure, l'architecture et le comportement dynamique des processus cognitifs eux-mêmes.

2) On ne peut pas modéliser les performances des connaissances *intuitives* en faisant seulement l'hypothèse que le système cognitif applique séquentiellement, de façon simplement « inconsciente », des programmes composés de règles formelles.

3) Dans un modèle morphodynamique connexionniste, les unités possédant une sémantique sont des *patterns* complexes d'activité distribués sur de nombreuses unités élémentaires. Cette conception de la sémantique est caractéristique de cette approche.

4) Alors que dans les modèles symboliques formels tous les niveaux de traitement sont de même type, dans les modèles dynamiques sub-symboliques il existe au con-

⁴⁰ Cf. Jackendoff (1987).

⁴¹ En ce qui concerne les modèles connexionnistes, cf. Amit (1989), PDP (1986), Visetti (1990).

traire un « *shift* » sémantique (le changement de niveau sub-symbolique → symbolique).

5) Les règles consciemment appliquées doivent être interprétées comme des régularités émergentes structurellement stables, c'est-à-dire comme des *patterns* d'activité stables sur des périodes de temps d'ordre psychologique (quelques centaines de ms).

6) L'univers *mathématique* des modèles morphodynamiques connexionnistes n'est pas celui des langages formels et des machines de Turing. C'est celui des systèmes dynamiques et de la théorie qualitative des équations différentielles. La computation sub-symbolique est continue, géométrique et différentielle. L'inférence n'y est pas l'application d'une règle de production symbolique mais plutôt un changement qualitatif analogue à une transition de phases⁴².

1.2.B. Thèmes cognitivistes et thèses gonthiennes

Donnons maintenant quelques brèves indications sur certains des thèmes fondamentaux des sciences cognitives qui rejoignent les thèses gonthiennes.

La théorie non extensionnelle des concepts

De plus en plus, les sciences cognitives s'accordent à considérer que les objets sont effectivement définis *par leur conformité plus ou moins grande à des prototypes*. La question traditionnelle des classifications naturelles se trouve ainsi reprise à partir des concepts techniques de *catégorisation et de prototypicalité*.

Considérons l'exemple des mémoires associatives dans les modèles connexionnistes.

- Le comportement de la machine sémantique envisagée est régi par des *dynamiques* opérant sur des réseaux de micro-traits.

- Les prototypes sont alors assimilés aux *attracteurs* de ces dynamiques et les catégories aux *bassins* de ces attracteurs.

- La capture asymptotique d'un état initial s_0 (représentant un stimulus) par un attracteur A s'identifie à *l'interprétation* de s_0 par la machine.

De telles mémoires associatives *adressables par leur contenu* réalisent techniquement la conception gonthienne. L'objet goethéen, le type, est donc bien devenu enfin, en accord avec le vœu de Gonthier, un objet fondamental de la spéculation « rationnelle »⁴³.

Le fait que notre activité mentale soit « ainsi orientée » peut être désormais considéré comme expérimentalement prouvé et informatiquement simulable. Il est lié au fait que notre cerveau est un système dynamique et non pas une machine de Turing.

⁴² Pour le débat opposant les paradigmes respectivement morphodynamique-connexionniste et symbolique-classique dans les sciences cognitives, cf. Smolensky (1988), Fodor-Pylyshyn (1988), Fodor-McLaughlin (1990), Andler (1990), Visetti (1990) et Petitot (1990e) et (1991c).

⁴³ Pour des précisions, cf. Petitot (1989b), (1989c) et (1991c) ; pour la « sémiotique » goethéenne, cf. Petitot (1985).

Les concepts comme schèmes

Ce point est intimement lié à la typicalité. Ces dernières années, les sciences cognitives ont mis en avant, de façon déterminante, les rapports entre le langage, l'action et la perception (en particulier la perception visuelle).

L'une des principales difficultés est de trouver des outils mathématiques adéquats pour décrire l'information topologique et dynamique — en fait l'information morphologique — fournie par la perception et traitée (« processée ») par la sémantique des langues naturelles. Le contenu de la perception est corrélé à une ontologie qualitative, une phénoménologie, du monde naturel. Le problème est par conséquent :

- 1) d'ancrer le langage naturel dans cette ontologie qualitative, et
- 2) d'en effectuer une description mathématique précise⁴⁴.

Ce programme de recherche — qui est partie intégrante de celui de la *morphodynamique cognitive* que nous développons depuis un certain nombre d'années sous le titre de *Physique du Sens*⁴⁵ — admet, avec Ray Jackendoff, qu'il existe une *structure conceptuelle*, c'est-à-dire un niveau cognitif profond de représentation où la perception, l'action et le langage deviennent compatibles. Cette structure conceptuelle transforme, nous l'avons vu, le monde physique en un monde « projeté » — en un monde phénoménologique morphologiquement structuré — relevant d'une physique qualitative⁴⁶.

Une des principales conséquences du fait que la langue naturelle se trouve ainsi enracinée dans une base morphologique est, en ce qui concerne les structures syntaxiques, *l'hypothèse localiste*. L'hypothèse localiste — qui se trouve au coeur de la partie syntaxique du programme de recherche de la sémio-linguistique morphodynamique — affirme que *les relations de position (tant statiques que dynamiques) pouvant exister entre des domaines locaux de l'espace-temps jouent le rôle d'archétypes — de schèmes de base — pour les structures syntaxiques*⁴⁷. Nous rencontrons la même idée chez Ray Jackendoff lorsqu'il affirme, suivant Gruber, que

[...] in any semantic field of [EVENTS] and [STATES] the principal event-, state-, path- and place-functions are a subset of those used for analysis of spatial location and motion.⁴⁸

⁴⁴ Pour des détails techniques sur les modèles morphodynamiques de la vision et de la syntaxe topologique, cf. Petitot (1989b), (1989c), (1989e), (1990e), (1991c) et (1991e).

⁴⁵ Pour le programme de recherche de la *Physique du Sens*, cf. Ouellet (1987) et Petitot (1985) et (1992b). Pour ses bases en théorie des catastrophes, cf. Thom (1972), (1980) et (1988) et Zeeman (1977).

⁴⁶ Sur le point de vue de Ray Jackendoff et son rapport à la phénoménologie, cf. Petitot (1989c), (1989e) et (1990e).

⁴⁷ Pour une histoire et une évaluation de l'hypothèse localiste, des grammairiens byzantins (Maxime Planude et Théodore Gaza) jusqu'à Hjelmslev et Anderson, cf. Petitot (1985). Pour son développement technique, cf. Petitot (1989c).

⁴⁸ Cf. Jackendoff (1983).

Dans une telle perspective, les concepts empiriques concrets deviennent des schèmes *figuratifs et iconiques* qui sont autant de règles d'application de contenus à des données perceptives.

La mise en avant de la connaissance intuitive et de la Lebenswelt

L'expérientialisme de George Lakoff, la conscience phénoménologique de Ray Jackendoff, la connaissance intuitive de Paul Smolensky, sont autant de réactivations actuelles de ce thème gonsethien majeur. Tout le problème est d'accéder à une compréhension de la nature de la connaissance *intuitive*. La thèse est, nous l'avons vu, que ce qui se manifeste cognitivement sous la forme d'applications séquentielles de règles symboliques formelles sont des *régularités* stables émergeant de dynamiques sous-jacentes. Ce sont par conséquent des processus qualitatifs d'*auto-organisation* (et non pas des compétences logiques) qui régissent l'expérience phénoménologique.

L'importance de la physique naïve et de la physique qualitative

La « vraie » physique n'est pas informationnellement traitable et utilisable. Il faut donc développer une analyse du comportement *qualitatif* des systèmes physiques. Initié par René Thom à la fin des années 1960, ce point de vue très gonsethien est devenu l'objet de recherches fort techniques. L'idée de base en est que ce qui est informationnellement et cognitivement significatif s'édifie sur les *singularités* et les propriétés *critiques* des phénomènes physiques.

L'iconicité de la grammaire

Mais ce qui est peut-être le plus gonsethien dans les sciences cognitives contemporaines concerne ce rapport entre le langage et la perception qui est constitutif du sens commun et, en particulier, l'*iconicité* figurative non seulement des concepts empiriques concrets, *mais également de la grammaire elle-même*⁴⁹.

Leonard Talmy a par exemple montré que les classes grammaticales *fermées* (telles que les prépositions, les auxiliaires modaux, les relations grammaticales, etc.) *spécifient des contenus sémantiques*, d'une nature très spéciale et très profonde, appartenant à l'ontologie qualitative du monde naturel. Comme cela est très bien expliqué dans « Relation of Grammar to Cognition » et dans « How Language Structures Space »⁵⁰, il existe une information positionnelle et topologique complexe, ainsi qu'une schématisation morphologique sophistiquée, qui se trouvent spécifiées par la classe fermée des prépositions :

Grammatically specified structuring appears to be similar, in certain of its characteristics and functions, to the structuring in other cognitive domains, notably that of visual perception.⁵¹

⁴⁹ Sur le thème de l'iconicité de la grammaire, cf. Haiman (1985), Lakoff (1988), Langacker (1987) et Petitot (1989c), (1989e), (1991c), (1991e) et (1992a).

⁵⁰ Cf. Talmy (1978) et (1983).

⁵¹ Cf. Talmy (1983).

On peut également mentionner les liens existant entre ce que Leonard Talmy appelle « *Force Dynamics* » et le système modal opérant sur une syntaxe actantielle⁵². L'idée directrice de la *Force Dynamics* est que les auxiliaires modaux des langues naturelles ("pouvoir", "vouloir", "devoir") ainsi que des quasi-auxiliaires comme "laisser", "aider", "empêcher", "essayer", "continuer à", "s'efforcer de", "réussir à", ou encore des conjonctions comme "à cause de", "grâce à", "malgré", "bien que", "contre", etc. spécifient grammaticalement au moyen de classes grammaticales fermées des rapports de forces dynamiques (énergétiques) entre les actants d'un processus et, par conséquent, spécifient grammaticalement les notions de force, d'obstacle, de résistance, de blocage, de dépassement, de coopération, de compétition, etc.. Selon Talmy, la notion de Force est « the semantic category that the modal system as a whole is dedicated to express »⁵³. C'est pourquoi

[...] the semantic category of force dynamics [...] must be recognized as one of preeminent conceptual organizing categories in language.⁵⁴

Leonard Talmy a ainsi révélé toute une structuration conceptuelle qualitative et schématique qui fonctionne comme un schème organisateur du langage naturel dans son rapport au monde naturel. Cette structuration et cette organisation schématiques vont beaucoup plus loin que celle analysée autrefois par la *Gestalttheorie*. Elles sont d'une richesse étonnante. Les résultats expérimentaux vont dans le sens du dégagement d'un nombre considérable « d'images-schémas » grammaticalement spécifiées. Il existe ainsi une « *abstract-schematic organization* » du monde vécu véhiculée par les langues naturelles.

Métaphore et analogie

Cette idée est devenue invasive dans la linguistique cognitive actuelle et en particulier dans les grammaires cognitives. En effet, on a pu montrer que l'organisation schématique abstraite évoquée plus haut impliquait l'existence de véritables *correspondances schématiques* — de « *schematic mappings* » — entre domaines sémantiques différents. Il existe une *métaphoricité*, une dimension analogique, qui est *constitutive* des langues naturelles et de la pensée et, en particulier, il existe une *métaphoricité spatiale* qui y opère de façon omniprésente. Elle est l'une des clefs de l'efficacité pratique du langage. Elle en permet en effet l'adaptabilité à des contextes pratiques fort différents. Elle est fondamentalement liée à notre relation corporelle avec la *Lebenswelt*, le monde vécu de l'expérience phénoménologique.

⁵² Cf. Talmy (1985). Pour des détails, cf. Petitot (1989e).

⁵³ Cf. Talmy (1985), p. 1.

⁵⁴ Cf. *ibid.*, p. 41.

L'oubli du spatial

D'où une critique sévère de ce que George Lakoff appelle « *the a priori stance* » caractéristique du logicisme et du dualisme physique/symbolique. Cette critique est en tous points analogue à celle que faisait Ferdinand Gosseth. Le passage au symbolique se fonde effectivement sur « l'oubli du spatial » et, en particulier, sur celui du principe de localisation.

II. Schématisation généralisée et constitution transcendantale des objectivités

J'en viens maintenant à la seconde partie de mon exposé. Elle concerne la doctrine de l'objectivité scientifique. Beaucoup de choses ont déjà été dites ici à ce sujet. Marco Panza a en particulier rappelé un certain nombre de perspectives de Ferdinand Gosseth⁵⁵. Je me bornerai à rappeler à mon tour certaines thèses particulièrement saillantes.

II.1. Rappels sur quelques thèses de Ferdinand Gosseth

*Première thèse — La nécessité de critiquer la conception logiciste de l'axiomatique qui « voue à l'anéantissement » le monde mental de la géométrie*⁵⁶.

Ainsi que l'affirme Gosseth,

[...] si l'on projette les concepts géométriques sur le plan de la logique, le sens qu'ils ont pris ou qu'ils pourront encore prendre dans la description des réalités dites objectives ne leur est plus inhérent.⁵⁷

La conséquence d'un tel point de vue logiciste est de rabattre la correspondance entre les mathématiques et la réalité empirique sur un simple rapport *dénotatif* entre une syntaxe et une sémantique. Or, en fait, pour Gosseth, le niveau formel de la logique *n'est qu'un niveau supplémentaire de schématisation*.

L'introduction des relations logiques n'est pas autre chose qu'une nouvelle schématisation axiomatique.⁵⁸

Mais, comme nous l'avons vu, cette axiomatisation faisant passer du géométrique au logique a un prix. *Elle rompt avec le conditionnement spatio-temporel des phénomènes*. L'aphorisme célèbre que nous avons déjà évoqué : « la logique est la physique de l'objet quelconque », peut selon nous s'interpréter ainsi : la logique est une « phy-

⁵⁵ Cf. la contribution de Marco Panza au présent volume, en particulier, pp. 32-42.

⁵⁶ Cf. [1936a], p. 82.

⁵⁷ Cf. *ibid.*.

⁵⁸ Cf. *ibid.*, p. 81.

sique » (i.e. une théorie objective) de l'objet *en général*, c'est-à-dire de l'objet *non* spatio-temporellement contraint.

Deuxième thèse — *La critique de la conception purement inductive des sciences.*

Dans sa préface à l'important ouvrage de Philippe Wehrlé, *L'Univers aléatoire*⁵⁹ (consacré entre autres choses à l'analyse du concept de *Weltbild* désignant chez Planck « le schème de structure qui est à la base d'une théorie »), Gonthier affirme que l'histoire de la physique montre que celle-ci est plus qu'une discipline inductive :

Une connaissance ouverte [...] exige d'abandonner sans esprit de retour la théorie classique de l'abstraction. Il faut lui substituer une théorie de l'abstraction schématisante, formalisante ou même simplement analogique.⁶⁰

Troisième thèse — *La mise en avant récurrente de la spécificité du géométrique en tant qu'intermédiaire entre l'intuitif et le logique.*

Par rapport à l'intuitif, le géométrique est abstrait mais, par rapport au logique, il est concret (matériel dirait Husserl). En ce sens, la géométrie est une « science naturelle »⁶¹.

Les notions géométriques sont des images idéales appuyées sur le réel objectif [même si elles] [...] ne prennent leur aspect rationnel que par l'axiomatisation⁶².

Il ne faut pas toutefois dissocier leur conformité au réel et leur vérité au sens logico-axiomatique⁶³. En effet,

[...] ce sont justement les caractères qu'on s'accorde à nommer spécifiquement géométriques qui ne trouvent pas accès dans le domaine du logique.⁶⁴

D'où la critique du conventionalisme, du moins si l'on recouvre par ce terme la thèse de l'arbitrarité des axiomes. Cette conception logiciste du conventionalisme — qui, il faut le souligner, n'était pas celle de Poincaré — détruit l'enracinement des mathématiques dans des idées-schémas⁶⁵. Or, de par son rapport à l'intuition, la géométrie « est indépendante de la juridiction d'une logique préétablie »⁶⁶. Elle fournit un rapport *non dénotatif* — *intuitif* — à la réalité externe. Au lieu de fournir des symboles logiques dénotant des entités séparées indépendantes, elle fournit une forme de l'extériorité mathématiquement déterminée. Il s'agit là d'une alternative fondamentale. Dans une optique symbolique, la dénotation est la clef du rapport à l'extériorité. Dans une optique schématique, c'est au contraire la *détermination mathématique des formes de l'intuition*

⁵⁹ Cf. Wehrlé (1957).

⁶⁰ Cf. *ibid.* : [1956P2].

⁶¹ Cf. [1936a], p. 149.

⁶² Cf. *ibid.*, p. 88.

⁶³ Cf. *ibid.*, p. 106.

⁶⁴ Cf. *ibid.*, p. 85.

⁶⁵ Cf. *ibid.*, p. 103.

⁶⁶ Cf. *ibid.*, p. 113.

qui l'est. Le rapport à l'extériorité y est *donné* par les formes de l'intuition en tant que celles-ci sont des formes de l'extériorité. En logique, il existe une *forme de l'objet en général* qui doit retrouver l'extériorité spatiale. En géométrie, il existe en revanche une *forme de l'extériorité* qui doit retrouver des objets.

Quatrième thèse — La stratification des schématisations.

L'axiomatique ne crée pas de toutes pièces un abstrait autonome : elle superpose un schéma à d'autres schémas, le sens du dernier ne pouvant jamais complètement se passer de ce que signifient les premiers.⁶⁷

« L'instant décisif » de l'axiomatisation n'est donc pas celui de la formulation des axiomes. C'est celui « où les notions nouvelles sont nettement perçues comme des abstraits par rapport aux notions premières »⁶⁸.

D'où l'affirmation bien connue :

Il n'y a pas d'axiome sans un concret où il fonde sa signification extérieure et un abstrait à la structure duquel il participe.⁶⁹

Cinquième thèse — L'abstraction schématisante des mathématiques comme forme de l'expérimentation.

Aussitôt que l'expérimentation intervient dans la construction de la réalité, les notions intuitives évoluent sous l'influence de la schématisation mathématique.⁷⁰

La schématisation mathématique est indispensable car l'expérimentation rompt avec l'intuition empirique. Mais elle *prolonge* le schématisme des langues naturelles.

Il y a, entre le rôle des schémas dans la description de la réalité d'expérience et l'emploi des mots à la désignation des choses, un parallélisme évident.⁷¹

En quelque sorte, *les mathématiques sont la langue naturelle des sciences expérimentales*. Elles sont dans leur nature propre tout aussi schématisques que la langue naturelle.

Sixième thèse — L'historicité et le devenir des concepts.

Le développement de ce thème constitue certainement l'une des plus grandes réussites philosophiques de Ferdinand Gonsseth. Il a en effet élaboré une conception qui rend pensable une dialectique de la valeur historique et de la vérité objective, c'est-à-dire une théorie de la connaissance *forte* (ni dogmatique, ni sceptique) où la vérité objective se révèle *compatible* avec le devenir des théories. Les concepts fondamentaux, les catégo-

⁶⁷ Cf. *ibid.*, p. 209.

⁶⁸ Cf. *ibid.*, p. 210.

⁶⁹ Cf. *ibid.*, p. 237.

⁷⁰ Cf. *ibid.*, p. 69.

⁷¹ Cf. *ibid.*, p. 74.

ries et les formes de la réalité ont une histoire « aux significations stratifiées et superposées comme des couches géologiques »⁷² (cf. les concepts de sédimentation et de traditionalité chez Husserl, en particulier dans *l'Origine de la Géométrie*⁷³). Comme lieu de la vérité, les mathématiques sont aussi le lieu d'un devenir dialectique.

Elles montrent ce que c'est qu'une *histoire du concept*.⁷⁴

II.2. Les thèses de Ferdinand Gonseth et la philosophie transcendantale contemporaine

Des points de vue très analogues à ceux de Ferdinand Gonseth sont développés de façon technique dans le programme de recherche que nous développons à Paris à partir de la notion de *schématisme généralisé*. Ce programme est centré sur une interprétation néo-transcendantale de la physique moderne.

Un certain nombre de textes étant disponibles, nous nous bornerons à un bref résumé.

La question de la géométrie comme instance constitutive de l'objectivité physique

Il s'agit de reprendre — évidemment en l'actualisant — l'esthétique transcendantale kantienne en se focalisant sur la différence entre les deux expositions.

- L'exposition métaphysique : elle concerne l'espace et le temps comme formes intuitives de la réalité, comme formes phénoménologiques, *données et non encore mathématiquement déterminées*, de la donation et de la présentation (*Darstellung*) phénoménales.

- L'exposition transcendantale : elle concerne le problème de la *détermination mathématique* de ces formes intuitivement données. Elle s'enrichit au moyen de la transformation des intuitions pures en ce que Kant appelait des *intuitions formelles*. A travers celles-ci l'espace devient *déterminé comme objet*⁷⁵. Les formes de l'intuition deviennent ainsi des *formes de légalité objective*. Or, une telle détermination *n'est pas univoque*. Il existe une *sous-détermination* des formes de donation phénoménologique par rapport aux possibilités de détermination mathématique. Un conventionalisme à la Poincaré se révèle donc parfaitement compatible avec une telle esthétique transcendantale généralisée⁷⁶.

⁷² Cf. *ibid.*.

⁷³ Cf. Husserl (1939).

⁷⁴ Cf. [1936a], p. 30.

⁷⁵ Cf. la célèbre note au § 26 concluant la *Déduction transcendantale*.

⁷⁶ En ce qui concerne l'esthétique transcendantale et le schématisme kantien, cf. Allison (1983), Brittan (1978), Mc Goldrick (1985), Prauss (1980), (1981a) et (1981b), Petitot (1990a), (1990b), (1990c), (1990d), (1991a), (1991b), (1991d) et (1992b). En ce qui concerne les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, cf. le classique Vuillemin (1955) ainsi que Petitot (1990d) et (1992b). En ce qui concerne l'*Opus Postumum*, cf. Petitot (1990d), (1991d). En ce qui concerne les

Il est essentiel de souligner ici les deux points suivants.

1) L'espace se donne comme un *infini en acte* (contrairement au nombre qui est, lui, un infini potentiel).

2) Il existe un *groupe d'invariance* de l'espace en tant que forme de la réalité objective mathématiquement déterminée. Ce groupe d'invariance est *constitutif* de l'objectivité et ce fait fondamental interdit toute lecture *ontologique* de la physique. En effet, comme y ont insisté de nombreux épistémologues de la physique, le groupe de relativité d'une théorie physique exprime ce que cette théorie *ne peut pas connaître* (origine temporelle absolue, position absolue, direction absolue, identité d'une particule élémentaire dans un complexe de particules indiscernables, par exemple d'un électron dans un atome, etc.). Or, un théorème essentiel — essentiel tant sur le plan mathématique que sur le plan physique et philosophique —, à savoir le théorème de Nœther, montre que ces groupes sont corrélés aux *grandeurs physiques conservables*, c'est-à-dire aux objets de base que la théorie physique considérée *peut connaître*. Etant donnée cette corrélation, *il ne saurait y avoir d'ontologie d'entités séparées indépendantes sous-jacente aux phénomènes physiques*⁷⁷.

En définitive, on peut dire que les déterminations mathématiques successives des formes de la réalité objective sont des *interprétations mathématiques des formes de l'intuition phénoménologiques*. Nous rencontrons par conséquent, au fondement même de l'objectivité physique, une *herméneutique mathématique*, c'est-à-dire une dimension interprétative, analogique et schématisante. Comme toute herméneutique, cette herméneutique — qui est, insistons-y, *constitutive* de l'objectivité — est *historique*⁷⁸. Conformément aux thèses de Gonseth, on peut par conséquent concilier histoire et vérité objective.

L'herméneutique mathématique et l'unité des mathématiques

Cette herméneutique mathématique de l'objectivité physique est en quelque sorte de premier niveau. Elle s'enrichit d'une herméneutique de second niveau, liée à ce qu'Albert Lautman appelait *l'unité des mathématiques*⁷⁹.

Une des caractéristiques fondamentales des mathématiques post-riemanniennes est, en effet, que les théories mathématiques *s'entre-expriment* et *s'entre-interprètent*. On peut

rappports entre la philosophie transcendantale et la géométrie ou la physique modernes, cf. Boi (1989), Folse (1978), Friedman (1985), Gomez (1986), Honner (1982), Scheibe (1981), Weizsäcker (1979), Wiredu (1970). Cf. également Petitot (1987a), (1987b), (1990a), (1990b), (1991a), (1991b), (1991d) et (1992a).

⁷⁷ En ce qui concerne le théorème de Nœther et sa généralisation dans le cadre de la mécanique hamiltonienne et de la géométrie symplectique, en particulier à travers le formalisme de l'application moment, cf. Abraham-Marsden (1978), Arnold (1976), PQG (1988), Souriau (1975), Weinstein (1977), ainsi que Petitot (1992b). Pour la signification fondamentale de ce théorème dans les théories physiques, cf. Cohen-Tannoudji-Spiro (1986).

⁷⁸ En particulier, derrière l'espace et le temps, il y a le *continu* et, comme Jean-Michel Salanskis l'a profondément montré, il y existe une *historicité* (un devenir) de *l'herméneutique mathématique* du continu conduisant jusqu'aux travaux néo-intuitionnistes en analyse non standard (approche radicalement finitiste du continu). Cf. Salanskis (1989) et (1991). Pour l'ANS, cf. également MNS (1989) et Petitot (1989a).

⁷⁹ Pour la philosophie d'Albert Lautman, cf. Lautman (1937-39) et Petitot (1987a).

traduire des propriétés de structures et d'objets dans des propriétés ou des théorèmes d'existence d'autres structures et objets corrélatifs. Ces traductions partielles entre théories jouent un rôle décisif dans les démonstrations modernes. Il s'agit là d'un fait massif et essentiel qui permet d'approfondir indéfiniment l'herméneutique mathématique des formes de la réalité physique.

Schématisme généralisé et construction mathématique des catégories

Mais dans les théories physiques il opère évidemment beaucoup plus qu'une détermination mathématique de formes de donation de la réalité comme le continu et l'espace-temps.

Il opère également une interprétation mathématique *des catégories et des principes* de l'objectivité physique (principes de conservation, de causalité, d'interaction, etc.). C'est dans la compréhension de ce fait que l'actualisation du schématisme transcendantal trouve sa légitimité et sa portée. Il ne s'agit plus d'un schématisme purement temporel comme chez Kant mais d'une actualisation et d'une généralisation de ce que Kant appelait une *construction mathématique des catégories* de l'objectivité. Cette construction mathématique réalise une *interprétation mathématique du sémantisme* des catégories et des principes physiques. C'est donc un schématisme, une correspondance schématique, au sens de Ferdinand Gonseth. Elle constitue un *troisième niveau* d'herméneutique.

Schématisme généralisé et théorie de la connaissance

Une telle actualisation du schématisme transcendantal permet de résoudre trois problèmes particulièrement difficiles de la théorie de la connaissance.

1. *Le problème du rapport existant entre, d'un côté, les concepts fondamentaux, les catégories, les maximes du jugement et les principes d'une théorie physique et, d'un autre côté, les modèles mathématiques de la diversité des phénomènes que cette théorie a pour vocation d'expliquer.*

On modélise des phénomènes mais on schématise des concepts et les deux exigences sont *complémentaires*. La modélisation doit être *compatible avec la diversité des phénomènes empiriques*. Le schématisme doit au contraire être *compatible avec l'unité de l'aperception*. Les mathématiques permettent — et elles seules — de passer du schématisme des catégories aux modèles *en transformant les schèmes en sources de modèles*. Seule leur *générativité* interne permet de réaliser cette fonction transcendante qui *réciproque* la fonction transcendante de subsomption du divers empirique sous l'unité aperceptive des catégories⁸⁰.

⁸⁰ Pour des précisions, cf. Petitot (1987b), (1990b), (1991a), (1991d), (1991c) et (1992b).

2. Le problème d'une dialectique entre la valeur historique et la vérité objective des théories scientifiques.

Dans une optique transcendantale — c'est-à-dire *constitutive* — les concepts de vérité et de nécessité ne sont plus absolus mais *relatifs*, relatifs à une procédure de constitution. Le contenu de la constitution — du schématisation et de la construction — peut donc changer historiquement — être en devenir — sans que ne soit pour autant aucunement remises en cause la vérité et la nécessité de la connaissance objective⁸¹.

En fait, on peut même penser qu'il existe un *telos* de la physique théorique : celui de la *géométrisation* des concepts. La célèbre formule de Clifford le proclame : « Physics is Geometry ». Ainsi que l'a profondément expliqué Hermann Weyl en introduisant le concept d'invariance de jauge, l'idée essentielle est *de ramener les principes dynamiques des théories physiques à un élargissement des principes de relativité*.

• Considérons par exemple la relativité générale. On y agrandit les groupes d'invariance de la mécanique classique et de la mécanique relativiste en passant du groupe de Galilée et du groupe de Poincaré au groupe des *difféomorphismes* de l'espace-temps. Cela permet de ramener la force à un pur effet de relativité (comme la vitesse en mécanique classique). Du coup — ainsi que l'ont bien montré Wheeler, Misner et Thorne dans *Gravitation*⁸² —, c'est géométriquement le niveau de structure *différentiable* — et non plus le niveau métrique — qui devient *a priori* alors que le niveau métrique devient, quant à lui, *physique* (rapport force-métrique).

Il existe d'ailleurs une *déduction a priori* des équations d'Einstein $G = 8\pi T$. On part du tenseur T d'impulsion-énergie. Celui-ci doit satisfaire un principe *physique* de conservation $\nabla T \equiv 0$ (où ∇T est la dérivée covariante de T). Mais cette loi de conservation doit être *a priori*, c'est-à-dire conséquence de propriétés purement *géométriques*. Pour réaliser cette contrainte, on pose $G' = kT$ où G' est un tenseur de même type que T , construit uniquement à partir de la géométrie de l'espace-temps et tel que $\nabla G' \equiv 0$. Sous des contraintes générales ($G' \equiv 0$ dans un espace-temps plat, i.e. constante cosmologique = 0, G' linéaire en le tenseur de courbure de Riemann), le tenseur d'Einstein G est la seule solution, $\nabla G \equiv 0$ étant alors l'identité de Bianchi. D'où l'équation $G = kT$. Comme l'étude du cas newtonien conduit à la valeur $k = 8\pi$, on a $G = 8\pi T$ ⁸³.

• Considérons également l'exemple des théories de jauge en théorie quantique des champs⁸⁴. On *construit* (au sens explicité plus haut) le concept physique *d'interaction* en *localisant* les symétries *internes* (non spatio-temporelles) des lagrangiens. En imposant l'invariance des lagrangiens libres pour ces symétries supplémentaires, on retrouve les lagrangiens d'interaction. Par exemple, en électrodynamique quantique, on rend *l'invariance par changement de phase* $\varphi \rightarrow e^{-ie\vartheta}\varphi$ dépendante de la *position* spatiale x . La phase ϑ devient donc une fonction $\vartheta(x)$. Le lagrangien libre de Dirac

⁸¹ Pour des précisions, cf. Petitot (1990b) et (1991d).

⁸² Cf. Misner-Thorne-Wheeler (1973).

⁸³ Pour la relativité générale, cf. Weyl (1922) et Misner-Thorne-Wheeler (1973). Pour une critique épistémologique de la géométo-dynamique de Wheeler, cf. Grünbaum (1973). Pour une analyse de ce débat, cf. Petitot (1992b).

⁸⁴ Pour des précisions sur la théorie quantique des champs, des théories de jauge jusqu'à la théorie des supercordes, cf. par exemple Green-Schwarz-Witten (1987), Itzykson-Zuber (1985), Le Bellac (1988), Manin (1988), Quigg (1983), ainsi que Petitot (1992b).

$$\mathcal{L}_D = \overline{\varphi(x)} (i \gamma^\mu \partial_\mu - m) \varphi(x)$$

n'est plus alors invariant. Pour le rendre invariant, on doit introduire un terme correspondant à un changement de jauge $A \rightarrow A + d\Lambda$ dans le lagrangien de Maxwell⁸⁵

$$\mathcal{L}_{EM} = -1/4 F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} - J^\mu A_\mu$$

On obtient ainsi, à partir des seules propriétés d'invariance, le couplage électron-champ électromagnétique.

3. Le problème de l'unification des sciences

Dans l'optique d'un schématisation généralisé et d'une herméneutique objective, l'unité des sciences n'est pas conçue comme due à une logique générale qui serait prescriptive pour les sciences en général. Elle manifeste une unité d'interprétation schématique réalisant physiquement des moments de l'unité des mathématiques au sens de Lautman. Ainsi que Ferdinand Gonseth n'a eu de cesse de l'affirmer, une telle unité est ouverte et en devenir. Elle est celle de l'histoire la plus essentielle, celle de l'histoire de la vérité objective.

Bibliographie

- ABRAHAM, R., MARSDEN, J.
(1978) *Foundations of Mechanics*, Benjamin Cummings, New-York, Reading.
- ALLISON, H. E.
(1983) *Kant's Transcendental Idealism. An Interpretation and Defense*, New-Haven, Yale University Press.
- AMIT, D.
(1989) *Modeling Brain Function*, Cambridge, Cambridge University Press.
- ANDERSON, J. M.
(1971) *The Grammar of Case, Towards a Localistic Theory*, Cambridge, Cambridge University Press.
(1975) « La grammaire casuelle », suivi de « Maximi Planudis in Memoriam », *Langages*, Paris, Didier-Larousse, 18-64 et 81-103.
- ANDLER, D.
(1990) « Connexionisme et cognition », RS [1990], 95-127.
- ARNOLD, V.
(1976) *Méthodes mathématiques de la mécanique classique*, Moscou, Mir.
- BOI, L.
(1989) « Idéalisations et objectivations ou des rapports entre géométrie et physique », *Fundamenta Scientiæ*, X, 85-114.

⁸⁵ $F^{\mu\nu}$ est le tenseur représentant le champ électro-magnétique, A_μ est le potentiel vecteur et J^μ le quadri-vecteur courant.

- BRITTAN, G.
(1978) *Kant's Theory of Science*, Princeton, Princeton University Press.
- CHURCHLAND, P. M.
(1984) *Matter and Consciousness*, Cambridge (Mass.), MIT Press.
- COHEN-TANNOUJJI, G., SPIRO, M.
(1986) *La Matière - Espace - Temps*, Paris, Fayard.
- FODOR, J. A.
(1984) *The Modularity of Mind*, Cambridge (Mass.), MIT Press.
- FODOR, J. A., MCLAUGHLIN, B. P.
(1990) « Connectionism and the problem of systematicity : Why Smolensky's solution doesn't work », *Cognition*, XXXV, 183-204.
- FODOR, J. A., PYLYSHYN, Z.,
(1988) « Connectionism and Cognitive Architecture : a Critical Analysis », *Cognition*, XXVIII, 3-71.
- FOLSE, H. J.
(1978) « Kantian Aspects of Complementarity », *Kant-Studien*, LXIX, 58-66.
- FRIEDMAN, M.
(1985) « Kant's Theory of Geometry », *The Philosophical Review*, XCIV, 455-506.
- GOMEZ, R. J.
(1986) « Beltrami's Kantian View of Non-Euclidean Geometry », *Kant-Studien*, LXXVII, 102-07.
- GONSETH, F.
(1936) *Les mathématiques et la réalité*, Paris, Blanchard.
(1945-55) *La géométrie et le problème de l'espace*, Neuchâtel, Le Griffon.
- GREEN, M. B., SCHWARZ, J. H., WITTEN, E.
(1987) *Superstring Theory*, Cambridge, Cambridge University Press.
- GRÜNBAUM, A.
(1973) *Philosophical Problems of Space and Time*, Dordrecht - Boston, Reidel.
- HAIMAN, J. (ed.)
(1985) *Iconicity in Syntax*, Amsterdam, J. Benjamins.
- HJELMSLEV, L.
(1935) *La catégorie des cas*, München, Wilhelm Fink Verlag, 1972.
- HONNER, J.
(1982) « The Transcendental Philosophy of Niels Bohr », *Studies in History and Philosophy of Science*, XIII, 1-29.
- HUSSERL, E.
(1939) « Die Frage nach dem Ursprung der Geometrie als intentional-historisches Problem », (E. Fink ed.), *Revue Internationale de Philosophie*, I, pp. 203-25 ; in *HuA*, VI, Beilage III, pp. 365-86.
- ITZYKSON, C., ZUBER, J. B.
(1985) *Quantum Field Theory*, Singapour, Mc Graw-Hill.
- JACKENDOFF, R.
(1983) *Semantics and Cognition*, Cambridge (Mass.), MIT Press.
(1987) *Consciousness and the Computational Mind*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

- KANT, I.
 (1781-90) *Oeuvres philosophiques* (F. Alquié ed.), Paris, Bibliothèque de la Pléiade, Gallimard, 1980-86.
 (1796-1803) *Opus Postumum*, (trad. F. Marty), Paris, Presses Universitaires de France, 1986.
- KOSSLYN, S. M.
 (1980) *Image and Mind*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- LAKOFF, G.
 (1988) « A Suggestion for a Linguistics with Connectionist Foundations », *Proceedings of the 1988 Connectionist Models Summer School*, M. Kaufman.
- LANGACKER, R.
 (1987) *Foundations of Cognitive Grammar*, Stanford, Stanford University Press.
- LAUTMAN, A.
 (1937-39) *Essai sur l'unité des mathématiques et divers écrits*, Paris, Union générale d'édition, 1977.
- LE BELLAC, M.
 (1988) *Des phénomènes critiques aux champs de jauge*, Paris, InterEditions-CNRS.
- LE DEBAT
 (1987) « Une nouvelle science de l'esprit », *Le Débat*, XLVII.
- LTC
 (1989) *Logos et Théorie des Catastrophes* (Colloque de Cerisy à partir de l'oeuvre de René Thom, J. Petitot éd.), Genève, Editions Patino.
- MANIN, Y. I.
 (1988) *Gauge Field Theory and Complex Geometry*, Berlin, New-York, Springer.
- MARR, D.
 (1982) *Vision*, San Francisco, Freeman.
- MCGOLDRICK, P. M.
 (1985) « The Metaphysical Exposition : An Analysis of the Concept of Space », *Kant-Studien*, LXXVI, 257-75.
- MISNER, C. W., THORNE, K. S., WHEELER, J. A.
 (1973) *Gravitation*, San Francisco, Freeman.
- MNS
 (1989) *La Mathématique non standard*, (H. Barreau, J. Harthong, eds.), Paris, Editions du CNRS.
- OUELLET, P.
 (1987) « Une Physique du Sens », *Critique*, CDLXXXI-CDLXXXII, 577-97.
- PDP
 (1986) *Parallel Distributed Processing* (D. E. Rumelhart, J. L. McClelland eds.), Cambridge (Mass.), MIT Press.
- PETITOT, J.
 (1985) *Morphogenèse du Sens*, Paris, Presses Universitaires de France.
 (1987a) « Refaire le "Timée". Introduction à la philosophie mathématique d'Albert Lautman », *Revue d'histoire des sciences*, XL, 79-115.

- (1987b) « Mathématique et Ontologie », *La scienza tra filosofia e storia in Italia nel novecento*, (F. Minazzi, L. Zanzi, eds.), 191-211, Roma, Edizione della Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- (1989a) « Rappels sur l'analyse non standard », *MNS [1989]*, 187-209.
- (1989b) « On the Linguistic Import of Catastrophe Theory », *Semiotica*, LXXIV, 179-209.
- (1989c) « Hypothèse localiste, Modèles morphodynamiques et Théories cognitives : Remarques sur une note de 1975 », *Semiotica*, XXVII, 65-119.
- (1989d) « Forme », *Encyclopædia Universalis*, XI, 712-28, Paris.
- (1989e) « Modèles morphodynamiques pour la Grammaire cognitive et la Sémiotique modale », *RSSI* (Canadian Semiotic Association), IX, 17-51.
- (1990a) « Logique transcendantale, Synthétique a priori et Herméneutique mathématique des objectivités », *Fundamenta Scientiæ*, X, 57-84.
- (1990b) « Logique transcendantale et Herméneutique mathématique : le problème de l'unité formelle et de la dynamique historique des objectivités scientifiques », *Il pensiero di Giulio Preti nella cultura filosofica del novecento*, (F. Minazzi ed.), 155-72, Milano, Franco Angeli.
- (1990c) « Note sur la querelle du déterminisme », *La Querelle du Déterminisme*, (K. Pomian ed.), 202-27, Paris, Le Débat, Gallimard.
- (1990d) « Premiers Principes métaphysiques d'une Science de la Forme », *Colloque de Cerisy autour de la Critique de la Faculté de Juger* (à paraître).
- (1990e) « Le Physique, le Morphologique, le Symbolique. Remarques sur la Vision », *Revue de Synthèse*, IV, 139-83.
- (1991a) « Idéalités mathématiques et Réalité objective. Approche transcendantale », *Hommage à Jean-Toussaint Desanti*, (G. Granel éd.), 213-82, Mauvezin, Editions TER.
- (1991b) « Continu et Objectivité », *Le Continu mathématique*, (Actes du colloque *Le continu mathématique*, Cerisy-la-Salle, Septembre 1990, J.M.Salanskis, H. Sinaceur éd.), à paraître.
- (1991c) « Why connectionism is such a good thing ? », *Philosophica*, XLVII, 49-79.
- (1991d) *La philosophie transcendantale et le problème de l'objectivité*, Paris, Editions Osiris.
- (1991e) « Syntaxe topologique et Grammaire cognitive », *Langages*, CIII, 97-128.
- (1992a) *Physique du Sens*, Paris, Editions du CNRS.
- (1992b) « Actuality of Transcendental Aesthetics for Modern Physics », (Actes du colloque *1830-1930 : un siècle de géométrie*, Paris, Institut Henri Poincaré, septembre 1989, L. Boi, D. Flament, J. M. Salanskis éd.), à paraître chez Springer.

PQG

- (1988) *Physique quantique et géométrie* (Actes du colloque autour de André Lichnerowicz, D. Bernard, Y. Choquet-Bruhat éd.), Paris, Hermann.

PRAUSS, G.

- (1980) *Einführung in die Erkenntnistheorie*, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- (1981a) « Time, Space and Schematisation », *The Philosophical Forum*, XIII, 1-11.
- (1981b) « Kants Theorie der ästhetischen Einstellung », *Dialectica*, XXXV, 265-81.

PREFACES

- (1988) « Un tournant cognitif dans les sciences humaines », *Préfaces*, X, 67-105.

PROUST, J.

- (1990) « De la difficulté d'être naturaliste en matière d'internationalité », *RS [1990]*, 13-31.

PYLYSHYN, Z.

- (1986) *Computation and Cognition*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

QUIGG, C.

(1983) *Gauge Theories of the Strong, Weak, and Electromagnetic Interactions*, Reading, Benjamin-Cummings.

RS

(1990) Sciences cognitives : quelques aspects problématiques, (J. Petitot éd.). *Revue de Synthèse*, IV, fasc. 1-2.

SALANSKIS, J. M.

(1989) « Le potentiel et le virtuel », *MNS [1989]*, 275-303.

(1991) *L'Herméneutique formelle*, Paris, Editions du CNRS.

SCHEIBE, E.

(1981) « Invariance and Covariance », (J. Agassi, R. S. Cohen, eds.), *Scientific Philosophy Today*, 311-31, Dordrecht, Reidel.

SHEPARD, R. N., COOPER, L. A.

(1982) *Mental Images and their Transformations*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

SMOLENSKY, P.

(1988) « On the Proper Treatment of Connectionism », *The Behavioral and Brain Sciences*, XI, 1-23.

SOURIAU, J.-M.

(1975) *Géométrie symplectique et Physique mathématique*, (Colloque Internat. du C.N.R.S., 237), Paris, Ed. du CNRS.

TALMY, L.

(1978) « Relation of Grammar to Cognition », *Proceedings of TINLAP-2* (D. Waltz ed.), Urbana, University of Illinois.

(1983) « How Language Structures Space », *Spatial Orientation : Theory, Research and Application*, (H. Pick, L. Acredolo, eds.), New York, Plenum P. C..

(1985) « Force Dynamics in Language and Thought », *Parasession on Causatives and Agentivity*, Chicago Linguistic Society (21 st. Regional Meeting).

THOM, R.

(1972) *Stabilité structurelle et Morphogenèse*, New York, Benjamin, Paris, Ediscience.

(1980) *Modèles Mathématiques de la Morphogenèse* (2ème éd.), Paris, Christian Bourgois.

(1988) *Esquisse d'une Sémiophysique*, Paris, InterEditions.

VISETTI, Y. M.

(1990) « Modèles connexionnistes et représentations structurées », *Modèles Connexionnistes* (D. Memmi, Y.-M. Visetti éd.), *Intellectica*, IX-X, 167-212.

VUILLEMIN, J.

(1955) *Physique et Métaphysique kantienne*, Paris, Presses Universitaires de France.

WEHRLE, P.

(1957) *L'univers aléatoire*, Neuchâtel, Le Griffon.

WEINSTEIN, A.

(1977) *Lectures on Symplectic Manifolds*, C.B.M.S., Conf. Series, Am. Math. Soc., 29, Providence.

WEIZSÄCKER, C. F. VON,

(1979) *Die Einheit der Natur*, Munich, Hauser.

WEYL, H.

(1922) *Space - Time - Matter*, New-York, Dover.

WIREDU, J. E.

(1970) « Kant's Synthetic A Priori in Geometry and the Rise of Non-Euclidean Geometries », *Kant-Studien*, LXI, 5-27.

ZEEMAN, C.

(1977) *Catastrophe Theory*, Massachusetts, Addison-Wesley .