

Jean PETITOT

Phénoménologie naturalisée et morphodynamique : la fonction cognitive du synthétique a priori

Introduction

1. Le programme de recherche des sciences cognitives récuse le partage classique entre les sciences explicatives de la nature (*Naturwissenschaften*) et les sciences interprétatives de l'esprit (*Geisteswissenschaften*). Son horizon est en effet celui d'une *naturalisation* de l'esprit et du sens.

2. Il existe essentiellement deux façons différentes de naturaliser l'esprit et le sens. Dans une première perspective, le lien avec les sciences naturelles s'effectue à travers une théorie de la compilation et de l'implémentation de structures symboliques formelles (logico-combinatoires) dans des substrats physiques (qu'il s'agisse de hardwares informatiques ou de substrats neuronaux). Le problème est alors de comprendre comment de telles machines à la fois symboliques et physiques traitent de l'information (théories computationnelles).¹

Dans une seconde perspective, on refuse au contraire l'idée dualiste qu'il puisse exister deux types hétérogènes d'objectivité : l'objectivité physique causale et l'objectivité logique idéale. On cherche à développer un monisme naturaliste. Cette seconde perspective est elle-même (au moins) double. Soit, comme c'est le cas dans les conceptions dites éliminativistes, on élabore un réductionnisme physicaliste strict déniait toute réalité autre que

¹ Cf. par exemple Pylyshyn [1986].

neuronale (et donc toute réalité symbolique objective autonome) aux actes, aux processus, aux représentations et aux contenus mentaux. Soit on se propose d'expliquer cette réalité comme une réalité *émergente*, c'est-à-dire comme une réalité d'échelle "macroscopique" émergeant de processus naturels collectifs d'(auto)organisation et d'(auto)régulation s'effectuant à l'échelle neuronale "microscopique" sous-jacente.² Cette approche émergentielle est en particulier celle du connexionnisme et de la morphodynamique. Elle n'est évidemment plausible que si une modélisation physico-mathématique sophistiquée des organisations, structures et fonctions émergentes lui permet de réaliser son programme.

3. S'il est une conception philosophique qui mérite d'être reprise par le programme de recherche des sciences cognitives, c'est bien de la phénoménologie husserlienne qu'il s'agit. En effet, elle demeure l'un des plus hauts lieux de réflexion à la fois philosophique et scientifique sur l'esprit et la conscience. Sa reprise cognitiviste conduit à la naturaliser. Quand on connaît l'opposition catégorique, toujours fortement affirmée par Husserl, entre la phénoménologie et le naturalisme scientifique cela ne va évidemment pas sans faire question ...

C'est pourquoi nous nous proposons ici de clarifier techniquement sur un exemple élémentaire, mais précis, — qui sera tiré du premier chapitre de la *Troisième Recherche Logique* — la signification à la fois philosophique et scientifique d'une *phénoménologie cognitive naturalisée*. Notre cadre sera celui, émergentiel, de l'approche morphodynamique. L'exemple concernera la perception visuelle. En effet, contrairement à ce que

² Le concept d'émergence n'a ici rien de vague ni de confusément métaphysique. Il renvoie aux progrès techniques (considérables) accomplis ces vingt dernières années en dynamique qualitative, en physique statistique et en thermodynamique de non équilibre, dans la compréhension des processus d'organisation — et en particulier des phénomènes *critiques* — produisant des structures macrophysiques qui, tout en étant causalement réductibles aux processus microphysiques sous-jacents manifestent néanmoins des propriétés invariantes autonomes qui en sont indépendantes. (Pour une introduction, cf. Petitot [1992b] et EMG [1992]).

l'on croit souvent, ce sont les structures de la perception qui fournissent l'exemple princeps d'intentionnalité.

Nous nous permettrons de traduire un certain nombre de formulations husserliennes dans des lexiques théoriques (cognitifs et mathématiques) contemporains. Nous sommes conscient du fait que cela "trahit" la lettre de Husserl. Mais c'est la condition *sine qua non* pour faire revivre son esprit.

I. Ressemblances et dissemblances entre la phénoménologie et le cognitivisme

I.1. Ressemblances

Il existe des rapprochements évidents entre la phénoménologie husserlienne et le cognitivisme contemporain. Ils concernent essentiellement le représentationnalisme mentaliste, le computationnalisme, le fonctionnalisme et le solipsisme méthodologique.

Rappelons très brièvement la signification de ces "ismes" barbares.

(i) Le cognitivisme symbolique classique est représentationnaliste au sens où il postule l'existence de représentations mentales neurologiquement implémentées (il s'oppose sur ce point aux éliminativismes physicalistes à la Churchland). Qui plus est, il conçoit ces représentations comme des expressions d'un langage mental interne formel possédant des propriétés formelles (syntaxiques) et représentationnelles (sémantiques). Les états mentaux mettent en relation l'activité cérébrale avec des tokens de représentations mentales (qui sont elles-mêmes sémantiquement en relation avec des états de choses externes) ; les processus mentaux sont quant à eux des relations causales (computationnelles) entre tokens de représentations mentales, relations qui sont déterminées par les relations *syntaxiques* entre les *types* de ces tokens.

(ii) Il est computationnaliste dans la mesure où il postule que ces représentations traitent de l'information en activant et contrôlant des processus physiques qui sont sensibles à leurs structures

syntaxiques, et non pas à leurs contenus sémantiques (condition de formalité). Les opérations computationnelles ne portant que sur la syntaxe, elles ne dépendent pas du monde externe.

(iii) Il est fonctionnaliste au sens où il postule qu'on peut découpler le niveau matériel bio-physique et le niveau logiciel logico-symbolique et que donc, en ce qui concerne leur fonction, les représentations mentales sont indépendantes de leur implémentation.

(iv) Enfin, il admet les thèses du solipsisme méthodologique selon lequel l'identification fonctionnelle des contenus mentaux est indépendante non seulement de leur implémentation mais aussi de tout rapport causal avec l'environnement externe. Dans la mesure où seules les propriétés syntaxiques des représentations mentales sont computationnellement significatives, les opérations mentales sont fermées à la sémantique de leurs symboles. Le contenu cognitif (syntaxique) des représentations mentales est un contenu "étroit", différent du contenu sémantique "large" qui est, lui, causalement relié aux états de choses externes.³ La dite théorie causale de la référence (selon laquelle toute référence "organisme \emptyset environnement" peut-être ramenée à des relations converses de relations causales "environnement \emptyset organisme") ne concerne que les contenus larges. Elle n'est pas à strictement parler cognitive.

On peut considérer que Husserl est, au début de ce siècle, le véritable initiateur de ces points de vue. Avec sa conception *eidétique* et sa théorie de la *corrélacion* entre d'un côté les actes et les processus mentaux — noèses — et d'un autre côté les structures idéales de sens — noèmes —, il a été le premier à élaborer un authentique fonctionnalisme évitant le double piège d'un réductionnisme psychologique et d'un ontologisme logique. Dans "l'antipsychologisme" de Husserl ainsi que dans ses thèses constamment répétées sur le statut des essences noématiques idéales on trouve une étonnante anticipation des principaux caractères du fonctionnalisme contemporain : ces structures sont formelles (logiques, syntaxiques, sémantiques), atemporelles, identiques à elles-mêmes et *indépendantes* des vécus psychiques et

³ Sur ces points délicats, cf. Proust [1990] et Pacherie [1992].

des actes mentaux, quant à eux fluents et temporels, où elles se réalisent. On trouve en particulier dans la thèse que, dans leur identité, ces idéalités constituent des composantes *non réelles* (i.e. non réductibles à des données sensorielles “hylétiques”) des actes mentaux, une profonde anticipation de la différence entre “token identity” et “type identity” des contenus mentaux. Comme les fonctionnalistes contemporains, Husserl rejette un physicalisme des types : les contenus mentaux ne peuvent pas être fonctionnellement individués par les processus neuronaux sous-jacents. Il y a selon lui une *neutralité ontologique* des processus cognitifs relativement à la nature physico-biologique des processus neuronaux sous-jacents.⁴

D'autre part, la fameuse *réduction transcendantale* (l'*epoché*, la “mise entre parenthèses” ou la “mise hors circuit” de la thèse de l'existence du monde) fournit l'exemple sans doute le plus élaboré et jusqu'ici le plus abouti de solipsisme méthodologique.

1.2. Dissemblances

Mais il existe néanmoins des différences fondamentales entre Husserl et le cognitivisme symbolique.

D'abord, malgré l'importance cruciale qu'il accordait à la logique, Husserl n'a pas dogmatiquement préjugé du caractère nécessairement propositionnel des idéalités corrélatives des actes mentaux. Profondément inspiré par la *Gestalttheorie* (dont l'un des fondateurs fut son second maître Carl Stumpf⁵), il a compris que toute compositionnalité et toute constituance ne sont pas forcément prédicativement formatées. Cela est particulièrement clair dans ses analyses de la perception.

Il s'agit là d'un point délicat. On a souvent souligné (H. Dreyfus, R. McIntyre, D. Føllesdal, etc.) la ressemblance qui existe entre le concept husserlien de noème et le concept cognitiviste de représentation mentale, ainsi que l'insistance de Husserl sur la

⁴ Insistons sur le fait que nous ne nous intéressons pas ici à l'exégèse du texte husserlien mais bien plutôt à son actualisation. Cela suppose évidemment une forte part de réinterprétation.

⁵ Rappelons que Husserl fut d'abord un vrai mathématicien, disciple et assistant de Weierstrass.

structure *prédicative* du noème et sur sa structuration comme *hiérarchie de règles* (pour des synthèses noétiques). Non seulement Husserl serait représentationnaliste, mais il le serait “à la Fodor”. Une telle interprétation n'est toutefois pas satisfaisante.

(i) D'abord, le point de vue symbolique et fonctionnaliste conduit à faire des systèmes cognitifs des systèmes syntaxiques *non intentionnels* “mimant” des systèmes sémantiques intentionnels. Il y aurait une *explication* fonctionnelle syntaxique de ce qui est *décrit* comme sémantique. Par exemple, selon Dreyfus, “Fodor et Dretske admettent tous deux que nous devons *décrire* l'esprit de façon *sémantique*, mais tous deux soutiennent que nous devons *l'expliquer de manière syntaxique*”.⁶ Or, on ne trouve pas chez Husserl l'idée d'une telle problématique du “comme si” : la conscience est une machine physique-symbolique qui se comporterait “comme si” elle était intentionnelle.⁷ Chez Husserl, le caractère intentionnel des représentations mentales est *intrinsèque* et constitutif. Il n'est pas épiphénoménal. Il n'est pas un artefact descriptif. On dirait aujourd'hui que le solipsisme et le fonctionnalisme husserliens sont *conceptuels* (au sens de la structure conceptuelle) et non pas syntaxiques.

(ii) D'autre part, comme nous le verrons, l'eidétique formelle se réalise toujours chez Husserl à travers des eidétiques *matérielles* non formelles, sources de règles “synthétiques a priori”.⁸ Ce n'est qu'au niveau de la *mathématisation* de ces eidétiques que Husserl adopte des thèses formalistes (hilbertiennes) et subordonne les eidétiques matérielles à une Analytique formelle (axiomatisation). Mais il ne développe pas la thèse de la nature formelle mentale des noèmes.

⁶ Dreyfus [1991], p. 76.

⁷ Cette problématique du “comme si”, du *als ob*, remonte à la conception kantienne de l'organisation biologique (cf. Petitot [1985a]). Le point de vue de philosophes comme Dretske, et encore plus explicitement Daniel Dennett, sur l'intentionnalité retrouve exactement une problématique du même ordre. Il consiste à dire que la “maxime du jugement” intentionnelle relève du jugement “réfléchissant” et non pas du jugement “déterminant”.

⁸ L'exemple princeps d'eidétique matérielle est la géométrie.

Une autre différence fondamentale entre Husserl et le cognitivisme contemporain concerne la nature de l'intentionnalité conçue comme directionnalité de la conscience, comme orientation et visée de la conscience vers des objets. L'une des plus grandes réussites de Husserl aura été de s'être donné les moyens — avec l'approfondissement de la corrélation noèse/noème — *de développer une théorie de l'intentionnalité dans le cadre solipsiste même de la réduction transcendantale*. L'idée directrice de la phénoménologie — à savoir celle de la fondation des transcendances objectales dans l'immanence des vécus et des actes —, la célèbre thèse que les objets intentionnels sont inclus à titre de composantes *non réelles* dans les actes dont ils sont les corrélats, cette idée et cette thèse expriment que *la directionnalité de la conscience se constitue sur la base des contenus mentaux étroits (cognitifs)*. En ce sens, l'intentionnalité ne relève pas chez Husserl d'une sémantique dénotative et d'une théorie de la référence. Intra-mentale et révélée par la réduction transcendantale, elle est indépendante de toute théorie causale de la référence. Sur ce point, Husserl non seulement anticipe sur le cognitivisme contemporain mais le dépasse dans la mesure où il apporte des éléments de réponse au problème le plus difficile, celui *d'une théorie internaliste de l'intentionnalité*. Comme nous allons le voir, la thèse si importante de Husserl — mais considérée jusqu'ici comme irrémédiablement obscure par la plupart des commentateurs — que, dans une perspective noématique, l'immédiateté de la perception est elle-même un caractère noématique, autrement dit que — dans son intentionnalité évidente — la perception se constitue elle-même à partir d'une *aperception*, cette thèse signifie que, bien qu'apparemment transparente et relevant apparemment des contenus sémantiques larges référentiellement reliés à des transcendances objectales externes, l'intentionnalité perceptive se constitue en fait sur la base des contenus étroits.

Pour préciser ces points délicats nous allons prendre, comme nous l'avons annoncé, l'exemple de la perception visuelle. Nous allons en traiter avec un certain détail l'un des cas les plus simples de façon à montrer explicitement comment les descriptions phénoménologiques peuvent s'articuler sur des études cognitivistes techniques qui les naturalisent.

II. Rappels élémentaires sur l'eidétique phénoméno-logique ⁹

II.1. Essences, noèmes et ontologies régionales

Un concept central de la phénoménologie husserlienne est celui d'*ontologie régionale*. Il explicite l'idée (reprise de Kant) que les phénomènes ne portent pas en eux-mêmes leur type d'objectivité. Pour être analysés comme objets d'expérience, les phénomènes doivent au préalable être *qualifiés* — légalisés — par un *type d'objectivité* spécifique (statut “juridique” du transcendantal). Ce type est d'ordre *normatif*. C'est une “essence”, c'est-à-dire un ensemble de règles eidétiques prescriptives qui sont constitutives de ce type d'objet. La vérité empirique en sciences présuppose toujours la conformité préalable des données empiriques à un tel ordre prescriptif-normatif. Comme l'explique fort bien Husserl dans les *Ideen II*, toute induction empirique présuppose que le *type* d'expérience considéré soit déjà déterminé dans son essence par un ensemble de règles eidético-constitutives : “c'est seulement en partant de l'essence du type d'expérience, et non inductivement et empiriquement, que peut être gagnée la connaissance de la *régulation constitutive* pour des unités de réalité de ce type”.¹⁰

Le type d'objectivité caractéristique d'une ontologie régionale est un noème, c'est-à-dire, nous l'avons vu, le corrélat intentionnel (au sens de la corrélation noèse/noème) de “synthèses noétiques”, autrement dit d'actes et de processus mentaux synthétisant et représentant des données empiriques, par exemple des données sensorielles élémentaires (ce que l'on appelle en phénoménologie des “data hylétiques”). Ce noème est l'essence d'un objet intentionnel. Il prescrit a priori — et donc détermine *préalablement* — ce qui appartient *typiquement* et en général, *génériquement* donc, à l'objectivité des phénomènes de la région considérée. Il *anticipe* “ontologiquement” sur le contenu empirique des sciences

⁹ Pour des précisions, cf. Petitot [1982], [1985a], [1986], [1992b].

¹⁰ Husserl [1982], p. 182. Comme nous l'expliquons ailleurs (Petitot [1987], [1991c], [1992b]), la différence phénomène/objet donne son vrai sens à la “différence ontologique” étant/être.

expérimentales qui dépendent de sa législation. Comme l'affirme Husserl, "il prescrit d'avance à toute recherche théorique une règle absolument contraignante". Le "sens originaire", l'essence, du type d'objectivité dégagée par "l'intuition eidétique" "est la norme qui doit être présupposée, à laquelle toute connaissance théorique possible est rationnellement liée".¹¹

II.2. *Anticipation et schématisation*

Il faut insister sur l'extraordinaire importance que revêt chez Husserl cette problématique de *l'anticipation*. Dans une certaine mesure, la possibilité d'anticipations rationnelles cohérentes sur les données empiriques est la signature même de l'objectivité. Chez Husserl, elle s'étend beaucoup plus loin que la seule prédictibilité scientifique et trouve sa forme la plus fondamentale dans les anticipations *perceptives* (cf. plus bas §§ III.1 et IV la perception par esquisses ¹²).

Hubert Dreyfus y insiste également. Les noèmes constituent des règles universelles d'anticipation *de possibilités prédéterminées par essence*. Par exemple, dans la donation et la présentation perceptives d'un objet conforme au type des objets perceptifs, les données sensorielles (les data hylétiques) sont mentalement représentées comme esquisses dans le contexte d'un *horizon* de donation et de représentations virtuelles (implicites) *co-données* (les autres esquisses du même objet). Autrement dit, les composantes sensorielles actuelles de la perception ne permettent pas de déterminer actuellement de façon *complète* l'objet perçu. Il appartient au noème de la perception de prescrire, à titre d'anticipations, les opérations qui permettront d'accéder à une détermination complète. C'est essentiellement pour cette raison que, comme l'explique McIntyre, les règles noématiques sont

¹¹ Husserl [1982], p. 138.

¹² Un exemple remarquable d'anticipation perceptive est celui des déformations des contours apparents d'un objet lors de son mouvement. Il s'agit là d'une extraordinaire performance géométrique du système visuel (qui est encore très loin d'être correctement modélisée par les algorithmes de la vision computationnelle). Elle fonde le sentiment d'extériorité des objets.

sémantiques (mais dans un sens non dénotatif). Elles prescrivent la façon dont un objet peut être “élevé au rang de détermination complète, quant à son *sens* et son *mode de donnée*”.¹³

En ce sens, la noématique husserlienne reprend et généralise la problématique kantienne *du schématisme des concepts empiriques*. Les noèmes sont des schèmes qui sont des règles de détermination progressive permettant de passer de types génériques à des instances (tokens) complètement déterminées. Le parallèle qu'établit Dreyfus avec des “*frames*” au sens de l'IA est particulièrement éclairant.¹⁴

C'est la fonction d'anticipation qui commande l'intentionnalité et produit un *effet* de référence, de directionnalité, de renvoi systématique à une extériorité. L'intentionnalité est donc bien chez Husserl un caractère *intrinsèque* des représentations mentales. C'est grâce à l'anticipation que *le rapport* à l'objet peut être révélé par l'époché et faire partie intrinsèque du mental conçu au sens solipsiste du terme.

C'est l'anticipation qui fonde les transcendances objectives dans l'immanence des actes y donnant accès. Le mouvement est le suivant :

- (i) L'être transcendant (au sens naïf, i.e. extérieur à et indépendant de la conscience) se *donne* : problématique de la donation et de la présentation des phénomènes (ce que l'on appelle philosophiquement depuis Kant la question de la *Darstellung*).
- (ii) Le donné est noématiquement structuré par des “structures de données” — des “synthèses noétiques” — qui le déterminent.
- (iii) Mais ce “traitement” est par essence incomplet ; il prédétermine des anticipations cohérentes concernant la structuration de données ultérieures actuellement virtuelles.

¹³ Husserl [1913/1950], § 142.

¹⁴ Dreyfus [1991], p. 21. “Il y a convergence entre la tâche de l'IA et celle de la phénoménologie transcendantale. Toutes deux doivent essayer d'expliquer les prototypes dans divers domaines qui déterminent les affectations implicites possibles.”

(iv) L'incomplétude et l'anticipation sont la manifestation de la transcendance objective de l'objet dans l'immanence même des actes ; l'intentionnalité est donc un caractère intrinsèque des représentations mentales.

II.3. La phénoménologie transcendantale comme épistémologie orientée objet

Une façon d'actualiser le concept d'ontologie régionale propre à la phénoménologie transcendantale est d'avoir recours à une analogie et de dire que celle-ci élabore une épistémologie qui est en quelque sorte "orientée objets". De même qu'en programmation orientée objets (OOP) on pré-définit modulairement des objets génériques, i.e. des types, des classes et des méthodes qui sont informationnellement encapsulés et prescrivent des réponses spécifiques à des messages externes, de même une ontologie régionale pré-définit des types d'objets et des règles "eidético-constitutives" qui prescrivent des réponses spécifiques aux procédures générales — aux catégories et aux principes — de l'expérience scientifique.

De façon générale, chez Kant, les néo-kantiens et Husserl, l'épistémologie transcendantale est une épistémologie orientée objets qui a compris qu'il fallait soigneusement distinguer trois aspects de la connaissance : (i) ce qui est pré-défini dans le concept régional d'objet d'un type d'objectivité donné ; (ii) ce qui relève d'une Analytique générale de l'objet quelconque (dont le type, "l'essence", est non spécifié) ; (iii) ce qui relève de l'articulation entre ces deux composantes.

Dans le lexique transcendantal traditionnel : (i) relève du *synthétique a priori* exprimant les contraintes imposées a priori par un type d'objet régional (Esthétique transcendantale)¹⁵ ; (ii) relève d'une *Analytique transcendantale* formulant sur une base logique les catégories générales de toute objectivité ; (iii) relève du *schématisme transcendantal* qui permet d'interpréter l'Analytique

¹⁵ Sur la façon dont, quoi qu'ont pu en dire les philosophes logicistes, le synthétique a priori est devenu de plus en plus constitutif de la physique théorique moderne, cf. Petitot [1992a].

transcendantale à partir des règles synthétiques a priori dérivées de l'Esthétique transcendantale.

Chez Husserl, l'Analytique transcendantale de l'objet en général s'explique sous la forme d'une *ontologie formelle*. Celle-ci explicite des catégories logiques formelles et des formes catégoriales comme objet, qualité, relation, connexion, pluralité, nombre, ordre, tout, partie, grandeur, etc.¹⁶ Quant au synthétique a priori il est explicitement repris à travers le concept d'ontologie régionale. Ces ontologies sont “matérielles” et non pas formelles. Elles portent sur des essences “concrètes” (comme les objets de perception ou le mouvement physique). Comme nous l'avons vu, dans une ontologie régionale l'expérience est spécifiée par avance, en quelque sorte “juridiquement” qualifiée, par une essence noématique. Gouvernée par des règles (l'équivalent de programmes et d'algorithmes), la conscience structure les objets comme exemplifications (token, occurrences) de types prédéterminés. Husserl l'explique dans les *Ideen I*, “la région n'est pas autre chose que l'unité générique (...) qui appartient à un concret”, “toute essence régionale détermine des vérités eidétiques de caractère synthétique, c'est-à-dire des vérités qui ont leur fondement en elle, en tant qu'elle est telle essence générique, et qui ne sont pas simplement des formes particulières de vérités empruntées à l'ontologie formelle.”

Les vérités synthétiques a priori fondées dans une essence régionale “forment le contenu de l'ontologie régionale” et “délimitent — et pour nous définissent — l'ensemble des catégories régionales.” Ces catégories expriment en fonction des axiomes régionaux et en termes de généralité eidétique “ce qui doit survenir *a priori* et “synthétiquement” à un objet individuel de la région.”¹⁷

Si l'on approfondit le parallèle entre épistémologie transcendantale et épistémologie orientée objets, on voit que le “synthétique a priori” qui a tellement épouvanté les philosophes logicistes et analytiques correspond essentiellement à *une thèse de modularité et d'encapsulation des objets*. Ce n'est pas une propriété inhérente de certains énoncés *mais une stratégie de constitution d'objectivité*. Il

¹⁶ Cf. Petitot [1991b].

¹⁷ Husserl [1950], pp. 55-56.

est aussi vain de se demander si un jugement est en soi analytique ou synthétique a priori que de se demander si une procédure est en soi une méthode encapsulée ou un message général.

Dans le cas des phénomènes sensibles, la modularité synthétique a priori consiste à *découpler* : (i) ce qui relève de la mise au format spatio-temporel des data de sensation (data hylétiques), i.e. de leur “synthèse” géométrique (ce que Kant appelait “intuition pure”), et (ii) ce qui relève des opérations catégoriales générales (i.e. appartenant à l'ontologie formelle) applicables à ces objets déjà “intuitivement” constitués.

Cela correspond au découplage constitutif de l'OOP entre : (i) les objets comme liage de structures de données avec des routines sachant manipuler ces structures (méthodes spécifiques), et (ii) les messages et les méthodes universelles (non spécifiques) applicables à tout type d'objet prédéfini.

On notera que l'épistémologie logiciste-analytique aura essentiellement consisté à déconstruire l'architecture “orientée objets” de l'épistémologie transcendantale pour l'aplatir sur une épistémologie purement “procédurale” exprimée dans un langage formel de bas niveau (logique du premier ordre). Cela était sans doute nécessaire pour qu'une technologie du formel puisse se constituer. Mais maintenant que le génie logiciel a redécouvert de lui-même l'importance cruciale d'une “orientation objets”, il devient pertinent de redéployer une conception “orientée objet” — i.e. transcendantaliste — de l'objectivité.

Épistémologie transcendantale	Programmation orientée objets
Domaine : Constitution d'objectivités scientifiques.	Domaine : Programmation.
But : Connaissances scientifiques objectives effectives.	But : Gestion effective de connaissances.
Catégories générales de l'ontologie formelle ... applicables à tout type d'objet. Analytique transcendantale et ontologie formelle.	Messages externes applicables à tout type d'objet. Méthodes universelles.
Ontologies régionales (Essences). Objets typiques et règles eidético-constitutives. (Esthétique transcendantale, règles synthétiques a priori, vérités eidétiques régionales).	Classes. Types d'objets caractérisés par des attributs et des méthodes (opérations spécifiques).
Anticipation et spécification de ce qui doit survenir synthétiquement a priori à un objet individuel quelconque de la région.	Anticipation et spécification des caractéristiques et des comportements d'un objet individuel quelconque de la classe.
Objet particulier d'une région (token) = instance de l'essence générique régionale (type).	Objet particulier (token) = instance d'une classe (type).
Liens de généralisation/spécialisation entre ontologies régionales.	Relations d'héritage Surclasses \emptyset Classes \emptyset Sous-classes.
Découplage de l'Esthétique transcendantale et du synthétique a priori relativement à l'Analytique transcendantale.	<i>Encapsulation</i> (modularisation) des data et des programmes (des attributs et des méthodes) constitutifs d'une classe.

Application des catégories de l'ontologie formelle aux ontologies régionales.	Communication avec l'objet au moyen de messages.
Schématisme transcendantal. Interprétation des catégories conformément aux caractéristiques d'une Esthétique transcendantale. ¹⁸	<i>Polymorphisme.</i> Spécificité des réponses de chaque type d'objet aux messages par sélection des méthodes appropriées pour répondre à un message.

¹⁸ Par exemple, la catégorie de cause s'interprète sous la forme de conditions initiales en mécanique classique et sous la forme d'instabilité structurelle en théorie des phénomènes critiques.

III. Rappels sur la phénoménologie de la perception visuelle : schèmes sensibles et perception par esquisses

III.1. Eidétique des schèmes sensibles

La perception constitue une ontologie régionale, et même l'ontologie régionale de base sur laquelle s'édifient la plupart des autres. Dans les *Ideen I* et *II*, Husserl décrit les objets sensibles comme des "archi-objets" (sur lesquels s'édifient d'autres synthèses noétiques que celles de la perception) donnés "en personne" (i.e. corporellement) et *pré-judicativement* dans une synthèse noétique *esthésique*. L'apparaître ainsi défini est non pas celui de "choses" matérielles concrètes mais celui de *schèmes sensibles*.

Il existe trois caractères phénoménologiques essentiels des schèmes sensibles.

(1) *Le rapport de fondation des qualités sensibles dans l'extension spatio-temporelle.* L'extension d'un schème sensible constitue son "attribut eidétique caractéristique".¹⁹ Elle n'est pas elle-même une propriété réelle mais "une forme eidétique de toutes les propriétés réelles" (ce que Kant appelait les formes de l'intuition sensible, ces formes étant à la fois les formes de la manifestation phénoménale et les formes de l'extériorité i.e. de l'intentionnalité perceptive). L'extension spatio-temporelle constitue ce que Husserl appelle *le corps spatial* du schème sensible, corps idéal (géométrique) dont le remplissement par les qualités sensibles est une donnée originaire de toute expérience perceptive. Comme l'affirme Husserl en reprenant le langage métaphysique traditionnel : "la chose ne connaît pas d'autres déterminations extensives que la pure corporéité [spatiale] (qualité première) et les qualités sensibles qui la modifient, c'est-à-dire les qualités secondes qui la qualifient".²⁰

¹⁹ Husserl [1982], p. 189.

²⁰ Ibid., p. 60.

(2) *La mise en relief de la forme (Gestalt) ainsi qualifiée.* Elle est nécessaire à la saisie de la forme. Elle s'opère à travers des *discontinuités qualitatives*.

(3) *La perception par esquisses.* Un schème sensible est lui-même une unité noématique de manifestation. Ce n'est ni une image sensorielle ni une perception particulière. Comme objet intentionnel (noème), il est l'unité d'une multiplicité d'apparences, de contours, de "faces", "d'aspects", de "profils" que Husserl appelle des *esquisses (Abschattungen)*. La manifestation par esquisses est un mode de manifestation originaire, caractéristique de la perception pure et "principiellement autre que la manifestation de propriétés réales [chosiques, matérielles]".²¹

Ces trois caractères eidétiques des schèmes sensibles permettent de préciser ce que nous avons vu de façon plus générale dans les sections précédentes.

1. Les schèmes sensibles sont des corrélats noématiques d'actes mentaux et donc des objets intentionnels. À ce titre, ce sont des structures idéelles. Mais, chez Husserl, leur idéalité est *double*.

(i) Il y a d'abord leur idéalité *morphologique* : celle des formes, de leurs contours et des qualités sensibles (couleurs, textures, etc.) qui les remplissent. Elle est de nature topologique-géométrique, schématique et iconique.

(ii) Mais il y a aussi leur idéalité comme structures de *sens*. Elle est de nature prédicative-logique, symbolique et formelle.

Comme nous le verrons, l'un des problèmes centraux de la phénoménologie de la perception, problème exceptionnellement difficile, et d'ailleurs laissé en grande partie irrésolu par Husserl, est celui du rapport entre ces deux types d'idéalité.

2. Dans la mesure où la corrélation noèse/noème reliant les actes mentaux et les vécus aux objets intentionnels possède la nature d'un fonctionnalisme, il faut élaborer *un fonctionnalisme morphologique* si l'on veut pouvoir tenir compte de l'idéalité morphologique des schèmes sensibles.²²

²¹ Ibid, p. 189.

²² Cf. Andler-Petitot-Visetti [1991].

3. Il existe par ailleurs un parallèle assez frappant entre le point de vue husserlien et une théorie computationnelle comme celle proposée par David Marr.²³ Dans la conception noématique de l'intentionnalité, les actes constituants (les synthèses noétiques objectivantes) sont eux-mêmes contraints par la légalité eidétique du noème. Dans le lexique de Marr cela revient à dire que les algorithmes de la vision computationnelle (synthèses noétiques) sont contraints et finalisés par le type d'objectivité propre à la perception, c'est-à-dire précisément par ce que Marr appelle la “théorie computationnelle” — en fait la théorie formelle — du domaine considéré.

4. On voit clairement dans le cas de la perception sensible la différence qui existe entre d'un côté les vécus de perception et la “matière” sensorielle (les contenus “réels”) et d'un autre côté l'objet intentionnel dont l'apparaître objectif s'esquisse dans ces apparences subjectives. On voit d'autre part que l'objet intentionnel se trouve défini, comme objet invariant support d'identité, de *deux* façons différentes correspondant respectivement à sa double idéalité cognitive, morphologique et sémantique.

(i) Comme schème sensible proprement dit, l'objet intentionnel est une structure morphologique tridimensionnelle, une Gestalt objective qui se trouve “processée” par les algorithmes perceptifs (les synthèses noétiques).

(ii) Comme essence, comme sens noématique déterminant un mode d'apparaître, l'objet intentionnel est aussi le pur principe d'identité qui permet aux différentes esquisses se déformant continûment dans un flux continu de perceptions de fusionner et de s'unifier dans un objet invariant.

5. L'exemple de la perception éclaire aussi le sens de l'anticipation comme fondement de l'intentionnalité. Corrélée au principe d'identité noématique, la donnée d'une esquisse d'un schème sensible permet d'anticiper de façon cohérente les autres esquisses. Un *horizon* de potentialités, d'attentes, d'expectatives (les

²³ Pour une introduction à la théorie de David Marr, cf. Petitot [1989d], [1990b].

esquisses virtuelles, en puissance, non actuellement données) se trouve donc *co-donné* avec les contenus actuels de la perception.

III.2. Les difficultés de la conception husserlienne du noème

De nombreux phénoménologues ont insisté sur les difficultés insurmontables qu'a rencontrées Husserl dans son projet de synthèse des idéalités morphologiques (*Abschattungen* spatio-temporelles) et noématiques (*Erlebnis*). Dans *Physique du Sens*²⁴ nous avons analysé l'exemple d'Aron Gurwitsch et de Johannes Daubert. Mais c'est sans doute Maurice Merleau-Ponty qui a le mieux compris la nécessité de compléter la noématique husserlienne par une théorie morphologique naturaliste et réaliste. Comme il l'explique dans ses cours au Collège de France (années 1952-53 et 1959-60),²⁵ pour comprendre le lien entre sens noématique et Gestalt (i.e. entre les deux types d'idéalité, sémantique et morphologique, du noème perceptif), il faut une théorie de la structuration et de l'organisation des substrats matériels — une “*phusis* phénoménologique”, ce que nous avons proposé d'appeler une “phéno-physique”, une *physique qualitative* — qui permette de comprendre sur des bases physicalistes, thermodynamiques et “cybernétiques” (comme on disait à l'époque) les “gradients morphogénétiques” et la façon dont “l'organisation réinvestit l'espace physique”, autrement dit de comprendre “l'émergence entre les micro-phénomènes, de macro-phénomènes originaux, lieux singuliers de l'espace”.²⁶ On a besoin, comme il le formule admirablement, d'une “*topologie phénoménale*”. Et Merleau-Ponty ajoute que le *sens* doit lui-même se fonder dans une telle macro-physique émergentielle. *Par catégorisations successives, le langage et ses significations s'édifient sur les formes*. Les formes naturelles — ce que Husserl appelait si bien le “flux héraclitéen des essences morphologiques vagues” — sont *intrinsèquement significatives*. Elles constituent un langage figuratif naturel. Elles manifestent dans

²⁴ Cf. aussi Petitot [1986].

²⁵ Merleau-Ponty [1968].

²⁶ On reconnaîtra là une anticipation remarquable des théories émergentielles de l'auto-organisation et des phénomènes critiques. Cf. Petitot [1993a].

leurs “moments figuraux” le paradoxe “d'une *force* lisible dans une *forme*”, “d'une trace ou d'une signature du temps dans l'espace”.

Bref, avant d'être une signification au sens sémantique du terme, *le sens est une couche d'être qui s'édifie sur la couche d'être de la forme*. L'idéalité sémantique du noème perceptif s'édifie sur son idéalité morphologique.

IV. La fondation des qualités sensibles dans l'extension spatio-temporelle : la troisième Recherche logique.

IV.1. La relation de dépendance “qualité \mathcal{A} extension”

Nous allons résumer certains passages de la troisième *Recherche logique* où Husserl décrit admirablement la structure eidétique du remplissement du corps spatial d'un schème sensible par des qualités sensibles comme la couleur.

La troisième *Recherche logique* est consacrée à la théorie des Touts et des Parties. Elle commence par l'introduction de la différence fondamentale entre contenus “abstraites” et contenus “concrets” que Husserl identifie aussitôt à la différence établie par Stumpf entre contenus “dépendants” et contenus “indépendants”. Cette différence est fondamentale pour “la théorie pure (a priori) des objets comme tels” qui traite des “catégories objectives formelles” et des “vérités d'essence de l'ontologie formelle”.

En tant que générale, l'opposition tout/partie appartient, selon Husserl, à l'ontologie formelle. Mais la troisième *Recherche logique* se compose en fait de deux chapitres de nature totalement différente. Dans le premier chapitre, “La différence entre les objets dépendants et les objets indépendants”, Husserl développe une analyse clairement morphologique. Puis dans le second chapitre, “Réflexions sur une théorie des formes pures des touts et des parties”, il passe du “matériel” (du topologique-géométrique-morphologique) au “formel” et cherche à développer une “axiomatique” méréologique des relations touts/parties.²⁷

²⁷ Cf. Smith [1982], Mulligan et al. [1984] et Poli [1992].

Le concept traditionnel de “partie” recouvre (au moins) deux genres d'entités bien distincts.

(i) Les parties “détachables” d'un tout morcelable. Ces “morceaux” sont des parties disjointes, séparables et indépendantes.

(ii) Les parties “non détachables” — ou moments — comme les couleurs ou les contours qui, bien qu'étant des composantes des objets, entretiennent avec leur extension un rapport de *dépendance*. Ils en sont inséparables [Inséparabilité = *Unabtrennbarkeit*].

On remarquera qu'une telle opposition fait intervenir de façon essentielle le concept *d'espace* (d'extension, d'étendue). La détachabilité-indépendance-séparabilité est essentiellement liée au caractère *fragmentable* de l'étendue, c'est-à-dire au fait que les contours d'objets délimitent différentes composantes connexes. En revanche, l'indétachabilité-dépendance-inséparabilité repose sur une *dépendance unilatérale* qualité \emptyset extension qu'il faut analyser plus en détail.

Pour ce faire, Husserl développe deux points au § 4 en se référant aux travaux de Carl Stumpf.²⁸ D'abord une théorie des qualités comme *essences abstraites*. Les moments qualitatifs et spatio-temporels immédiats de l'intuition sensible (cette couleur-ci, cette forme-ci) sont singuliers et concrets. Mais ils se regroupent en *espèces* abstraites qui se regroupent elles-mêmes hiérarchiquement en espèces super-ordonnées et en genres. Autrement dit, pour Husserl, il existe une *catégorisation* des qualités et des formes, et donc des (proto)types. Et la relation de dépendance unilatérale “qualité \emptyset extension” ne devient *une loi* que relativement à ces catégorisations. Cette loi d'essence porte sur des types, des abstraits génériques, on dirait maintenant des constituants de structure conceptuelle.

“La dépendance [*Abhängigkeit*] des moments immédiats [*der unmittelbaren Momente*] concerne donc une certaine relation conforme à une loi existant entre ceux-ci, relation qui est déterminée purement par les *abstracta*

²⁸ Pour une introduction au concept de *Gestalt* (en particulier chez Stumpf, von Ehrenfels et Meinong), cf. Smith [1988].

immédiatement supérieurs [die nächst übergeordneten Abstrakta] de ces moments”.²⁹

Les “dépendances fonctionnelles” dans la variation des moments se réalisent dans le champ de variation délimité par ces espèces abstraites. Il s'agit là d'un point essentiel mais assez délicat. Husserl distingue soigneusement une qualité comme *abstractum* et “le moment immédiat qui s'y rapporte dans l'intuition.”³⁰ Il appelle un tel moment immédiat une “différence spécifique ultime [*niederste Differenz*]”. La relation entre une extension particulière et des moments qualitatifs immédiats est une “dépendance fonctionnelle” alors que celle entre les genres de l'extension et de la qualité est une “loi” qui *légalise* les dépendances fonctionnelles qu'elle subsume.

Husserl propose ensuite une conception *objective et a priorique* de la loi de dépendance. C'est la dépendance fonctionnelle qualité/étendue légalisée par la loi de dépendance qui rend les moments qualitatifs inséparables, qui en fait des contenus partiels non détachables.

“Ce n'est pas là, de toute évidence, un simple fait empirique [*eine bloÙe empirische Tatsache*], mais une nécessité *a priori* [*eine a priorische Notwendigkeit*], qui se fonde sur les essences pures [*in den reinen Wesen*]”.³¹

Les paragraphes 5-7 approfondissent ce point. La distinction dépendant / indépendant est *objective*. Elle relève d'une “nécessité idéale *a priori* fondée dans les *essences* matérielles”³², d'une “légalité objective” et d'une “évidence apodictique”. Elle est indépendante des actes d'appréhension corrélatifs, indépendante de toute conscience psychologique effective, de toute “facticité de notre pensée subjective”.³³ On rencontre là un exemple typique de *synthétique a priori* au sens de Husserl. Nous allons y revenir.

²⁹ § 4, p. 14.

³⁰ Ibid. Il s'agit donc de l'opposition entre un constituant de structure conceptuelle et les data de sensation sur lesquels il opère.

³¹ § 4, p. 15.

³² § 7, p. 22.

³³ § 6, p. 21.

Notons toutefois dès à présent le point essentiel : selon Husserl, *la dépendance fonctionnelle n'est pas mathématisable en tant que telle ; seule peut l'être en droit la loi qui la légalise à un niveau d'abstraction supérieur.*

IV.2. Séparation et fusionnement. Discontinuités et continuité qualitatives

C'est dans les §§ 8-9 que la description eidétique husserlienne culmine. Le titre du § 8 est “De la différence entre contenus *indépendants* et contenus *dépendants* et de la différence entre contenus qui se *détachent* intuitivement [*anschaulich sich abhebenden Inhalten*] et contenus *fusionnés* [*verschmolzenen*] intuitivement.” Husserl y explique qu'on ne peut *appréhender* des moments intuitifs qualitatifs et spatio-temporels que si les contenus concrets globaux dont ils sont les moments composent une unité globale qui “doit se détacher en tant que phénomène” [*phänomenal Abhebung*]. Pour être saisi, un phénomène doit, comme le dirait Thom, être *saillant*. Comment se constitue la saillance ? Husserl introduit, toujours à la suite de Stumpf, “la différence entre les contenus “*séparés*” intuitivement [*anschaulich “gesonderten” Inhalten*], “*se détachant*” [*sich “abhebenden”*] ou “*se scindant*” [*sich “abscheidenden”*] de contenus connexes [*angeknüpften Inhalten*], et les contenus *fusionnés* [*verschmolzenen*] avec ces derniers, *fondus* en eux [*in sie überfließenden*], sans qu'il y ait entre les uns et les autres de délimitation [*ohne Scheidung*”].³⁴

Le fusionnement de contenus voisins produit un effet de totalisation.³⁵ C'est un passage du local au global par diffusion. En revanche, la séparation, la disjonction [*Sonderung*], parce qu'elle fait obstruction au fusionnement (en posant des frontières à la diffusion), permet de limiter des parties. Husserl insiste sur le fait qu'elle repose sur le concept de *discontinuité* : “*Sonderung beruht*

³⁴ § 8, p. 26.

³⁵ Pour des précisions sur ce concept fondamental de “fusion” phénoménale, cf Smith [1988]. Husserl l'utilise aussi pour comprendre les moments d'unité “figuraux” de collections discrètes comme des “lignes” d'arbres, des “tas” de pierres, des “essaims” d'abeilles, etc. (Pour ce point, cf. également Petitot [1991b]).

[...] auf *Diskontinuität*” [“la séparation se fonde [...] sur la discontinuité”]. Et il résume ainsi le fusionnement (le passage est entièrement souligné par lui) :

“Deux réalités concrètes [*Konkreta*] sensibles [*sinnliche*] simultanées [*gleichzeitige*] forment nécessairement une ‘unité indifférenciée’ [*eine ‘unterschiedslose Einheit’*], quand l’ensemble des moments immédiatement constitutifs de l’une passe continûment [*‘stetig’*] dans les moments constitutifs correspondants [*entsprechende*] de l’autre. Le cas de l’identité [*Gleichheit*] de moments correspondants quelconques doit être considéré ici comme cas limite possible de la continuité [*Grenzfall der Stetigkeit*], c’est-à-dire comme le fait que ces moments passent continûment en eux-mêmes”.³⁶

C'est dire que la continuité est conçue par Husserl comme une *identité qualitative*, et donc la discontinuité comme une *différence qualitative*.

Dans le § 9, Husserl traite de deux points. D'une part du statut des concepts de continuité et de discontinuité. Nous allons y revenir. D'autre part des *phénomènes de fusionnement* [*Verschmelzungsphänomene*]. Comme nous venons de le voir, la séparation [*Sonderung*] correspond à la discontinuité [*Diskontinuität*] et le fusionnement [*Verschmelzung*] à la continuité [*Kontinuität*]. Les discontinuités sont des discontinuités qualitatives, c'est-à-dire des transitions brusques entre différences spécifiques ultimes (cf. plus haut). “La discontinuité comme telle se rapporte aux différences spécifiques ultimes à l'intérieur d'un seul et même genre [*Gattung*] pur immédiatement supérieur [*übergeordnet*”].³⁷ C'est dire qu'elle est une discontinuité de la *dépendance fonctionnelle* “qualité \emptyset extension”. Cela implique qu'elle est plus qu'un simple écart [*Abstand*] dans le genre de qualités considéré. Il faut que cet écart se réalise entre moments qui “s'étendent de part et d'autre d'une limite commune”.³⁸ Il doit s'inscrire sur un substrat spatial et concerner non seulement la

³⁶ § 8, p. 27. Le traducteur français a traduit *stetig* par *continuellement*. Nous pensons que le contexte impose *continûment*.

³⁷ § 9, p. 29.

³⁸ Ibid. La citation faite par Husserl est de Stumpf.

qualité mais aussi le “rapport de recouvrement [Deckungszusammenhang] (au sujet duquel seul il est question de discontinuité)” de l’extension par la qualité.³⁹ Bref, ces discontinuités qualitatives ne sont saisissables *que si* elles sont contigûment déployées [sie ‘angrenzend ausgebreitet’ sind] “sur le fond d’un moment variant continûment [ein kontinuierlich variierendes Moment], à savoir le moment spatial et temporel”.⁴⁰ Ce dernier point est capital. Il définit en effet le contenu *synthétique a priori* de la relation de dépendance unilatérale “qualité \emptyset extension” : l’extension spatio-temporelle doit être le support d’un déploiement, d’une propagation [Ausbreitung], de qualités ; elle doit en *contrôler* les variations. D’où cette remarquable définition du concept gestaltiste de discontinuité qualitative :

“C’est à partir d’une limite de l’espace et du temps [einer Raum- oder Zeitgrenze] que l’on saute [springt] d’une qualité visuelle à une autre. Dans ce passage continu [kontinuierlichen Übergang] d’une partie d’espace [Raumteil] à une autre partie d’espace nous ne progressons pas à la fois aussi d’une manière continue dans la qualité qui les recouvre [in der überdeckenden Qualität], mais du moins à un endroit de l’espace [Raumstelle] les qualités “limitrophes” [die ‘angrenzenden’ Qualitäten] ont un écart [Abstand] fini (et pas trop petit)”.⁴¹

Bref, il ne peut y avoir *détachement* — “mise en relief” — des objets, “que si une discontinuité a été créée au moyen des moments qui la recouvre”.

IV.3. Le conflit entre le synthétique-matériel-morphologique et l’analytique-formel-logique

Un problème central est alors de définir le statut de cette description eidétique — clairement morphologique — de la saillance phénoménale. Incontestablement, elle relève typiquement selon

³⁹ § 9, p. 30.

⁴⁰ § 9, p. 29.

⁴¹ Ibid. Husserl introduit donc explicitement l’idée que l’écart doit être supérieur à un seuil.

Husserl du synthétique a priori. À la fin du § 9, il explique qu'avec la différence entre contenus détachés et non détachés :

“nous nous mouvons dans la sphère des intuitivités “subjectives” vagues [*der vagen “subjektiven” Anschaulichkeiten*], qui précisément a aussi ses particularités d'essence remarquables, et que, par conséquent, avec cette différence, nous restons fort éloignés de la différence *ontologique* universelle [au sens de l'ontologie formelle] entre contenus abstraits et concrets, entre contenus indépendants et contenus dépendants”.⁴²

Autrement dit, les essences morphologiques décrites précédemment appartiennent à l'ontologie *régionale* — matérielle — de la perception et non pas à l'ontologie formelle.

Les lois de dépendance comme la loi de dépendance “qualité \emptyset extension” “trouvent leur fondement [...] dans la particularité essentielle des contenus, dans leur spécificité”.⁴³ Ce sont “des lois d'essence déterminées concrètement et susceptibles de multiples variations”⁴⁴ , “des lois pures *déterminées quant à leur contenu*”.⁴⁵ Elles sont fondées dans les espèces et les genres purs qui en sont constitutifs. C'est dire qu'elles relèvent de concepts génériques *matériels* (géométriques) et non formels. L'opposition entre concepts “matériels” et concepts “formels” est ici cruciale. Les concepts formels de l'ontologie formelle ne concernent que l'objet “en général” à travers les “axiomes ontologiques formels”. Les concepts matériels concernent au contraire les genres concrets où s'enracinent les ontologies régionales matérielles. C'est dans cette *division cardinale* [*kardinale Scheidung*] entre “formel” et “matériel” que se fonde celle entre les disciplines, les lois et les nécessités respectivement *analytiques-a priori* [*analytisch-apriorischen*] et *synthétiques-a priori* [*synthetisch-apriorischen*]. Husserl est catégorique en ce qui concerne le caractère *synthétique a priori* de la loi de fondation “qualité \emptyset extension”. Même si le concept général de dépendance appartient à l'ontologie formelle,

⁴² § 9, p. 31.

⁴³ § 11, p. 35.

⁴⁴ § 10, p. 33.

⁴⁵ § 10, p. 34.

toutefois “il est clair [...] que toutes les lois ou toutes les nécessités se rapportant aux différentes *espèces de dépendances* entrent dans les sphères de l'a priori *synthétique*”.⁴⁶

Le problème se pose alors de savoir quel est le statut *mathématique* des lois de dépendance *matérielles* (synthétiques a priori). Sur ce point crucial, la position de Husserl est très ambiguë. C'est que pour lui, seules les lois analytiques, parce qu'elles sont d'essence logique, “peuvent se “*formaliser*” *complètement*”. Toute analytique “s'édifie purement sur des catégories logiques formelles et des formes catégoriales”.⁴⁷ C'est ce que tente de faire Husserl dans le chapitre II de la troisième *Recherche logique* en développant une axiomatique générale des rapports de fondation.

L'exemple princeps *d'eidétique matérielle* étant pour Husserl la géométrie, on s'attendrait à ce qu'il propose une formalisation géométrique des lois synthétiques a priori morphologiques qu'il a si bien dégagées. On s'y attendrait d'autant plus qu'il se réclame explicitement de Kant en ce qui concerne le synthétique a priori :

“on comparera les définitions données ici avec celles de Kant, qui, à notre avis, ne méritent nullement d'être nommées ‘classiques’. Il nous semble qu'avec elles nous sommes arrivés à une solution satisfaisante de l'un des problèmes les plus importants de la théorie de la science [le synthétique a priori]”.⁴⁸

Or, bien que dans la première édition des *Recherches Logiques* il ait envisagé de “caractériser le plus clairement possible au moyen de concepts exacts [i.e. mathématiques] les formes vagues [i.e. les essences morphologiques inexactes] de l'intuition”⁴⁹, il affirme en entrée du § 9: “continuité et discontinuité ne doivent naturellement pas être prises avec une exactitude mathématique” [*“Kontinuität und Diskontinuität sind natürlich nicht in mathematischer Exaktheit zu nehmen”*]. Il ne s'agit que de concepts propres à la description phénoménologique. Selon Husserl, les lieux de

⁴⁶ § 11, p. 36.

⁴⁷ § 12, p. 39.

⁴⁸ § 12, p. 40.

⁴⁹ p. 28.

discontinuité [*die Unstetigkeitsstellen*] ne sont pas des lieux singuliers au sens mathématique (ils le seront pour M. Merleau-Ponty, cf. plus haut).

Pour comprendre ce point qui engage dans une certaine mesure le destin scientifique de toute la phénoménologie, il faut comprendre l'*incompatibilité* qui existe selon Husserl entre les “essences morphologiques vagues” de l'intuition sensible et les idéalités mathématiques, seraient-elles géométriques. Pour Husserl, “les configurations d'essence de toutes les données intuitives comme telles” ne sont pas des “concepts exacts et idéaux” et ne peuvent pas, par là même, être mathématiques.

“Les essences appréhendées dans les données intuitives par idéation [Ideation] directe sont des essences ‘inexactes’ et ne doivent pas être confondues avec les essences ‘exactes’ qui [...] sont issues d'une ‘idéalisation’ [Idealisierung] *sui generis*”.⁵⁰

Il n'existe donc pas, selon Husserl, de *géométrie morphologique* et, par conséquent, il n'existe pas de *schématisme morphologique* de la relation de dépendance fonctionnelle “qualité \emptyset extension” qui jouerait le rôle de schématisme transcendantal pour le synthétique a priori morphologique (pourtant si bien eidétiquement décrit et défini en tant que synthétique a priori).

Comme nous l'avons montré en détail dans *Physique du Sens*, ce refus d'un schématisme morphologique engage l'ensemble du projet scientifique de la phénoménologie.

“Les concepts descriptifs de toute description pure, c'est-à-dire de celle qui se conforme immédiatement et fidèlement à l'intuition [*Anschauung*], donc aussi de toute description phénoménologique [*aller phänomenologischen Deskription*], sont, par conséquent, différents par principe des concepts déterminants de la science objective [*der objektiven Wissenschaft*]. Elucider cet état de choses, c'est là un problème phénoménologique auquel on ne s'est pas encore appliqué sérieusement, et qui, même en ce qui concerne la distinction présente, n'est pas résolu”.⁵¹

⁵⁰ § 9, p. 28.

⁵¹ Ibid.

Autrement dit, il existe chez Husserl une opposition principielle et irréductible entre description qualitative et formalisation, entre essence morphologique et ontologie formelle. Cette opposition est développée de façon profonde dans les *Ideen I* où Husserl confronte la phénoménologie comme eidétique descriptive morphologique à la géométrie et conclut à nouveau qu'une géométrie morphologique est impossible à élaborer.⁵² La conséquence en a été pour Husserl l'impossibilité de principe de dépasser le stade de la description pure.

V. *Le schématisme morphologique de la dépendance "qualité \bar{A} extension"*

On voit bien sur cet exemple élémentaire (mais basique) ce que peut signifier la *naturalisation* de la phénoménologie dans une optique cognitive. La description eidétique que nous venons de résumer est d'ordre *noématique*. Elle constitue la plus simple et la plus primitive des composantes des schèmes sensibles. Pour la naturaliser il faut la compléter dans deux directions.

(i) D'abord, dans le cadre du fonctionnalisme morphodynamique, il faut en élaborer le schématisme morphologique.

(ii) Ensuite, dans le cadre d'un computationnalisme effectif (par exemple connexionniste) il faut expliciter les algorithmes qui en formalisent les synthèses noétiques corrélatives.

Sous le titre de "naturalisation", il s'agit donc de développer la stratégie suivante. D'abord convertir l'eidétique descriptive phénoménologique en une *eidétique descriptive géométrique*. La schématisation géométrique du synthétique a priori est la clef de la naturalisation. Elle fournit en effet une version non "formaliste" de la noématique. *La noématique perceptive est d'abord affaire de géométrie* et non pas de logique (au sens naïf du terme).

Une fois conquise la géométrisation du synthétique a priori morphologique, il s'agit alors :

⁵² Pour une analyse détaillée, cf. Petitot [1986] et [1992b] III.4.

(i) de montrer comment on peut la corréler à une (“phéno”)-*physique qualitative* (versant “externe” de la naturalisation) ; sur ce point les théories macro-physiques de l’organisation et des phénomènes critiques jouent un rôle essentiel ; elles fournissent une explication physicaliste de la “topologie phénoménale” de Merleau-Ponty ;

(ii) de montrer comment on peut l’implémenter dans des réseaux de neurones (versant “interne” de la naturalisation).

Nous ne traiterons ici que du schématisme morphologique.

V.1. La schématisation des concepts et le problème du continu (Esthétique transcendantale)

Reprenons les concepts fondamentaux de la description husserlienne. Ce sont essentiellement ceux de : (i) espace-étendue-extension ; (ii) qualité concrète/abstraite, espèce, genre ; (iii) dépendance/indépendance, indétachabilité/détachabilité, inséparabilité/séparabilité ; (iv) dépendance fonctionnelle unilatérale et fondation “qualité \emptyset extension” ; (v) fusion / séparation de qualités voisines (“connexes”) ; (vi) continuité / discontinuité ; (vii) déploiement (*Ausbreitung*).

Les lois d’essence formulées par Husserl sont, nous l’avons vu, des lois synthétiques a priori (“matérielles”) portant sur les essences *abstraites* de ces concepts. Et ici s’ouvre une alternative quant à leur formalisation : soit on les axiomatise directement dans le cadre d’une *ontologie formelle* i.e. d’une Analytique (même si elles relèvent d’une ontologie régionale matérielle), soit on les mathématise en tant que lois synthétiques a priori. Dans *Physique du Sens*, nous avons expliqué pourquoi Husserl a dû choisir la première voie de l’alternative : étant donné ce qu’il croyait être l’essence axiomatique des mathématiques, les lois synthétiques a priori matérielles n’étaient pour lui formalisables qu’à travers leur subordination aux lois analytiques de l’ontologie formelle.

Nous choisissons ici la seconde voie, celle *de la schématisation mathématique du synthétique a priori*.⁵³

⁵³ Pour des précisions sur le problème du schématisme, cf. Petitot [1987], [1990a], [1992b]. Pour des précisions mathématiques sur son lien avec le problème du

V.2. *La Verschmelzung et la géométrie différentielle riemannienne*

Les espaces intuitifs en jeu sont des continua, des domaines d'espaces standard \mathbb{R}^n . À quel niveau de structure correspond donc le concept basique de *Verschmelzung* ? Ce n'est pas le niveau purement topologique, qui est trop faible : on sait en effet que les structures topologiques peuvent être d'une complexité interne infinie (fractale), ce qui n'est évidemment pas le cas ici. Mais ce n'est pas non plus le niveau métrique, qui est trop fort. En fait, le niveau de structure du continu phénoménologique intuitif semble être celui de la structure *différentiable*.⁵⁴

Cette hypothèse peut être confirmée historiquement. En effet, le concept de *Verschmelzung* remonte aux études consacrées par le psychologue J.F. Herbart à la façon dont des représentations mentales peuvent présenter des transitions continues (ce qu'il appelait des *Reihenformen*, des “formes sérielles”). Herbart avait fondé une bonne partie de sa psychologie sur l'idée que le continu renvoyait à un processus *mental* fondamental et il avait forgé le néologisme de *synéologie*⁵⁵ à cet effet.⁵⁶ Or, Riemann a été profondément inspiré par Herbart.⁵⁷ Son concept de *variété* (*Varietas*, *Mannifaltigkeit*) provient directement de cette psychologie continuiste et mathématise les situations où des représentations conceptuelles peuvent subir des transitions continues. C'est sur la base de ces substrats intuitifs qu'il a introduit les concepts fondamentaux de coordonnées locales et de métrique

continu et l'Analyse non standard, cf. Salanskis [1991], le Colloque de Cerisy *Le Continu Mathématique* (LC [1992]), ainsi que Petitot [1979a], [1989e], [1991b], [1992c].

⁵⁴ Cf. Petitot [1989d], [1990b].

⁵⁵ De “suneéceèz” = “continu” en grec.

⁵⁶ Peirce aussi a fondé sa sémiotique et sa phénoménologie de la perception (phanéoscopie) sur le concept de continu, sur un “synéchisme”.

⁵⁷ Cela est attesté par ses réflexions philosophiques (non traduites dans l'édition française de ses œuvres mais dont une traduction inédite est néanmoins disponible sur demande).

riemannienne. Autrement dit, comme le remarque Erhard Scholtz, la différence entre la théorie de Riemann et la théorie moderne des variétés qui en est issue est que “the role of the topological space [is] taken in a vague sense by a Herbartian-type of ‘serial form’, backed by mathematical intuition”.⁵⁸ Or, l'espace “intuitif” sous-jacent à une variété riemannienne est en fait une variété différentiable.

V.3. Le rapport de fondation “qualité \mathcal{A} extension” et le concept de fibration

Dans l'optique qui est la nôtre, la schématisation de la *loi* de fondation “qualité \mathcal{O} extension” doit correspondre à un genre de *structures* mathématiques d'un certain type, ce que l'on appelle en mathématiques une *catégorie* de structures. Dans sa généralité, le type de ces structures correspond aux essences (aux “genres”) sur lesquelles porte la loi. Les structures mathématiques *spécifiques* appartenant à ce genre correspondent quant à elles à des *modèles* des instances phénoménales de la loi.

De quelle catégorie de structures s'agit-il ? Il s'agit de celle de *fibration* ou *d'espace fibré*.⁵⁹ De façon intuitive, un espace fibré est une variété différentiable E muni d'une *projection différentiable* $p : E \rightarrow M$ sur une variété différentiable de base M et satisfaisant les propriétés (v) et (vi) ci-dessous.

- (i) M est *la base* de la fibration ;
- (ii) p est *la projection structurale* ;
- (iii) E est *l'espace total* de la fibration ;
- (iv) l'image réciproque $E_x = p^{-1}(x)$ d'un point x de la base M s'appelle *la fibre* de la fibration au-dessus de x ;
- (v) toutes les fibres E_x sont isomorphes à une fibre type F ;
- (vi) p est localement “triviale” : pour tout $x \in M$, il existe un voisinage U de x tel que $E_U = p^{-1}(U)$ soit difféomorphe au produit

⁵⁸ Scholtz [1992], p. 23.

⁵⁹ Pour une introduction pédagogique aux structures géométriques localement triviales (revêtements, fibrés, faisceaux, etc.), cf. Petitot [1979b], et surtout sa bibliographie.

direct $F \infty U$, la restriction de p à EU se transformant par ce difféomorphisme en la projection canonique $F \infty U \emptyset U$ de ce produit sur son second facteur.

Dans l'exemple qui nous occupe ici, la variété base M est l'extension W d'un substrat et l'espace fibre F est l'espace Q du genre des qualités sensibles considérées (par exemple les couleurs). Ces qualités sont traitées comme des grandeurs intensives. *C'est la structure de projection constitutive d'une fibration qui schématise la loi de fondation en tant que loi d'essence.* Les grandeurs sont toutes des grandeurs au sens de Riemann-Herbart. Mais la fibration introduit une *dissymétrie* entre la variété base M et la variété fibre F : la base est un espace "externe" extensif, la fibre un espace "interne" intensif. Le fait que la projection structurale p projette E sur M exprime alors *la dépendance unilatérale* des grandeurs intensives relativement aux grandeurs extensives : c'est l'espace "externe" qui "contrôle" l'état "interne".

La variété base peut exister sans une fibration qui s'y projette. Mais une fibration ne peut pas exister sans sa base. Cet élément de *l'axiomatique* des fibrations axiomatise une loi phénoménologique *eidétique* et *synthétique a priori* : à travers une schématisation mathématique adéquate, le synthétique a priori se convertit donc en axiomatique. Répétons qu'une telle axiomatisation *indirecte* médiatisée par une schématisation est foncièrement différente d'une axiomatisation *directe* de la loi conceptuelle de fondation dans le cadre d'une ontologie formelle (ce qu'essaye de faire Husserl dans le chapitre II de la troisième *Recherche logique*). Au lieu de subordonner le synthétique a priori à une analytique, elle l'interprète d'abord mathématiquement et ce n'est qu'à travers cette médiation herméneutique qu'elle rejoint l'axiomatique.

V.4. Le concept de section d'une fibration et la dépendance fonctionnelle husserlienne

Nous avons noté plus haut que la principale limite de la description husserlienne était de ne pas mathématiser correctement le concept de dépendance fonctionnelle. La structure générale de fibration permet de le faire. Elle est la *source* d'une infinité de

modèles possibles pour des phénomènes spécifiques qui sont des instances (des “tokens”) de la loi eidétique de fondation.

D'abord, comme nous l'avons vu, on spécifiera l'espace externe base M comme extension W d'un substrat et l'espace interne fibre F comme espace Q d'un genre de qualités. Mais à quel concept mathématique correspondra alors la façon dont les moments qualitatifs non détachables dépendent de l'extension W ? Ce concept est celui de *section* d'une fibration. Il généralise celui de fonction, c'est-à-dire, celui de dépendance fonctionnelle.

Soit $p : E \rightarrow M$ une fibration. Une section de p est une application $s : M \rightarrow E$ qui “remonte” M dans E , c'est-à-dire qui, à tout $x \in M$ associe un élément $s(x)$ de E qui appartient à la fibre E_x de p au-dessus de x . Cela s'exprime en imposant la contrainte que l'application composée $p \circ s : M \rightarrow E$ soit l'identité de M . Une trivialisatation locale $p|_U : E|_U \cong F \times U \rightarrow U$ transforme une section s en une application $x \mapsto (f(x), x)$ de U dans $F \times U$ où $f : U \rightarrow F$ est une application (une “fonction”) de U dans F . La section s sera dite continue, différentiable, etc. suivant que ces f le sont.

Une section d'une fibration exprime donc très précisément une *dépendance fonctionnelle spécifique* des moments qualitatifs de la fibre par rapport à l'extension de la base. Et elle l'exprime en relation avec la loi de dépendance que schématise la fibration. Nous retrouvons donc exactement la description “pure” husserlienne. Cela prouve que, contrairement à l'affirmation de Husserl, celle-ci est mathématisable.

V.5. Morphologies et discontinuités qualitatives : le passage de Husserl à Thom

Les discontinuités qualitatives rendant un phénomène saillant sont des discontinuités de sections. De façon plus précise, soient q_1, \dots, q_n les qualités sensibles (les moments dépendants) “recouvrant” l'espace externe W . Elles appartiennent à des espaces de genre Q_1, \dots, Q_n (couleurs, textures, etc.). Soient $q_1(w), \dots, q_n(w)$ les *sections* exprimant le “recouvrement” de W par les q_i (i.e. $q_i : W \rightarrow E_i$ est une section de la fibration $p_i : E_i \rightarrow W$ de fibre Q_i). Cette donnée

permet de schématiser le concept de saillance phénoménologique qui est constitutif du concept de morphologie. C'est l'un des grands mérites de Thom que d'avoir conçu une telle formalisation. Avec lui, on appellera *régulier* un point $w \in W$ où toutes les sections $q_i(w)$ sont *localement continues*, i.e. continues dans un voisinage de w . Par définition, les points réguliers forment un *ouvert* R de W .⁶⁰ Soit K le fermé complémentaire $K = W - R$ de R dans W . K est constitué des points — dits *singuliers* — où l'une au moins des sections $q_i(w)$ est discontinue. Il est la morphologie dont la saillance phénoménologique correspond exactement à la description husserlienne.

V.6. Catégorisation des espaces de qualités

Il faut ajouter à cette description le fait que, en général, les espaces Q de qualités sont *eux-mêmes catégorisés*. Cela signifie essentiellement qu'il existe : (i) une décomposition de Q en domaines (catégories) par un système de frontières ? (ce que l'on appelle une *stratification*) et (ii) des *prototypes* correspondant à des “valeurs centrales” dans ces domaines.

Une façon simple de catégoriser un espace est d'introduire une dynamique. Les prototypes s'interprètent alors comme les attracteurs de cette dynamique, les catégories comme les bassins d'attraction et les frontières comme les séparatrices des bassins.⁶¹

L'introduction de telles catégorisations engendre en général des discontinuités qualitatives supplémentaires. En plus des discontinuités provenant de celles des sections $q_i(w)$, il y a les discontinuités provenant du fait que $q_i(w)$ change de catégorie. Elles peuvent exister même si la section q_i est continue.

⁶⁰ Rappelons qu'un ouvert est en effet un voisinage de chacun de ses points.

⁶¹ Les modèles connexionnistes de mémoires associatives sont des implémentations de tels modèles dynamiques. Pour les modèles morphodynamiques de catégorisations, cf. Petitot [1985b].

V.7. Schématisation morphologique et eidétique descriptive

Nous voyons de façon très claire sur cet exemple la façon dont une schématisation (ici une schématisation morphologique) permet de mathématiser une description phénoménologique en faisant droit à toutes ses composantes et à tous ses niveaux eidétiques.

1. La dépendance fonctionnelle existant au niveau des différences spécifiques ultimes correspond à la donation d'un phénomène particulier. Elle se trouve modélisée par une section particulière $\sigma : W \rightarrow E$ d'une fibration particulière. Autrement dit, le caractère *fonctionnel* des relations de dépendance se trouve ici traité de façon mathématiquement rigoureuse à travers le concept de section. Rappelons que celui-ci généralise effectivement celui de fonction en prenant en compte le fait qu'en chaque point de l'extension W la qualité actuelle appartient à un *paradigme* de qualités (dont les autres termes demeurent virtuels).
2. Les discontinuités qualitatives sont modélisées par des discontinuités des sections.
3. La loi d'essence "déterminée concrètement par ses contenus" correspond à une fibration particulière $p : E \rightarrow W$ ayant pour fibre un espace de qualités particulier Q . Il s'agit d'un premier niveau de généralité : l'extension W et le genre de qualité Q sont déterminés, mais aucune section particulière n'est privilégiée. Il s'agit donc d'une loi de dépendance entre *espèces* déterminées (et non plus entre différences spécifiques ultimes).
4. La loi synthétique a priori de dépendance "qualité \rightarrow extension" correspond à la structure mathématique générale de fibration. Elle porte sur des genres abstraits (des essences : espace et qualité).
5. "L'axiomatisation analytique" de la loi de dépendance dans le cadre de l'ontologie formelle correspond enfin à l'axiomatique (cette fois au sens fort et correct, hilbertien, du terme) de la structure de fibration, c'est-à-dire. à la *catégorie* mathématique de fibration.

V.8. Le synthétique a priori et l'esthétique transcendantale : la réponse au problème de l'intentionnalité

Tel que nous venons de l'expliciter sur un exemple particulièrement élémentaire, le schématisme morphodynamique permet de clarifier un problème central, peut-être le problème le plus important posé par l'intentionnalité. Il s'agit de la fonction de la *géométrie* comme *syntaxe* cognitive.

Nous avons vu aux §§ I.2 et III.2 les difficultés qu'il y a à penser l'intentionnalité comme un caractère intrinsèque des représentations mentales dans le cadre d'une conception symbolique, syntaxique et "internaliste", bref solipsiste, des contenus "étroits". En fait, la plupart de ces difficultés viennent d'une conception trop naïvement "logique" de la syntaxe. Elles s'évanouissent en grande partie dès que l'on comprend : (i) que la géométrie est, elle aussi, une "syntaxe", (ii) *que ce qui en fait une syntaxe est la même chose que ce qui en fait la forme de l'extériorité*.

C'est parce que, en tant que géométrie, une syntaxe des contenus mentaux peut être dans le même temps une forme de l'extériorité qu'il est possible de fonder l'intentionnalité de façon solipsiste. Cette vérité fondamentale dont la découverte extraordinaire a fait culminer le génie kantien a été occultée par le primat philosophique accordé à la logique (élémentaire) au cours de ce siècle. La conséquence en a été l'impossibilité de sortir des paralogismes de l'intentionnalité.

Précisons un peu ce point. Dans les réflexions précédentes, il existe (au moins) *trois* niveaux complètement différents de "syntacticité". Ils ne sont d'ailleurs pas sans rappeler les trois niveaux de David Marr. Il s'agit respectivement de ceux de l'implémentation, des algorithmes et du formel (i.e. du "computationnel").

- (i) Le niveau "micro-physique", celui des opérations au niveau matériel des processeurs (neuronaux par exemple).
- (ii) Le niveau "macro-synthétique", celui de la géométrie et des schèmes morphologiques, ainsi que celui des algorithmes corrélatifs.
- (iii) Le niveau "macro-analytique", celui de l'axiomatisation et de la théorie formelle des structures géométrico-topologiques constitutives de (ii).

Le niveau (i) est celui de l'implémentation. Il ne fait pas ici problème. Le niveau (ii) est celui des contenus idéaux des représentations. Il supporte toute l'eidétique phénoménologique-cognitive. L'illusion du cognitivisme symbolique est de croire que sa réalisation mentale implique *ipso facto* celle du niveau formel (iii) (version cognitiviste de la subordination husserlienne du synthétique a priori à l'analytique). Cette illusion de *transitivité* des niveaux est une "illusion transcendantale". C'est elle qui conduit aux paralogismes de l'intentionnalité car, à l'inverse d'une syntaxe géométrique, une syntaxe logique ne peut pas être en elle-même une forme de l'extériorité ! Notre thèse est que le niveau (ii) est mentalement réalisé dans les opérations cognitives de la perception *sans que* le niveau (iii) (qui en est la *théorie* formalisée) le soit.

Cette thèse est assez analogue à celle proposée par Paul Smolensky dans sa dernière réponse à Jerry Fodor et Zenon Pylyshyn sur la constituance dans les modèles connexionnistes.⁶² On peut l'expliciter de la façon suivante. Il faut d'abord avoir une conscience claire de ce que Smolensky appelle *le dilemme "structure/statistique"*, à savoir le paradoxe cognitif opposant des modèles dynamiques numériques-statistiques (connexionnistes) de *performances réelles* à des descriptions formelles (à base de règles) de *compétences idéales*. Il n'y a que pour les compétences idéales que la transitivité (ii) \emptyset (iii) est acceptable. *Elle ne l'est pas pour la performance*. D'une part, la nature symbolique du niveau formel (iii) *n'implique pas* la nature symbolique du niveau (ii). Ce niveau algorithmique peut parfaitement être dynamique et non pas symbolique. D'autre part, les constituants symboliques qui *émergent* au niveau (iii) n'ont pas d'efficacité causale au niveau (ii). Ils n'appartiennent pas à la réalité interne des représentations mentales : *les symboles sont des artefacts de la description formelle des compétences idéales*.

Autrement dit, comme l'a remarqué Yves-Marie Visetti,⁶³ dans le cadre d'un fonctionnalisme morphodynamique *l'effectivité* computationnelle se sépare du symbolique sans pour autant

⁶² Cf. Smolensky et al. [1992].

⁶³ Communication privée.

s'identifier au niveau micro-physique de l'implémentation. Elle demeure une effectivité de structures idéales “syntaxiques” mais son idéalité syntaxique est d'essence géométrique.

Nous retrouvons ainsi l'idée force kantienne que les contenus géométriques sont bien des *contenus* mais des contenus en quelque sorte *syntaxiques* et non pas sémantiques. La géométrie est une pure syntaxe, mais en tant que syntaxe elle agit identiquement comme une “intuition pure” qui est la forme de l'extériorité.⁶⁴

Le sens cognitif profond du synthétique a priori réside dans *la non transitivité* du “macro-synthétique” vers le “macro-analytique”. Celle-ci permet une théorie solipsiste “étroite” de l'intentionnalité. L'espace, au sens de l'Esthétique transcendantale kantienne, reste la clef de l'intentionnalité. Toute intentionnalité s'y fonde et en dérive. Elle en hérite l'intentionnalité primitive.

VI. Phénoménologie de la perception, schématisation morphodynamique, et vision computationnelle

Nous avons montré ailleurs en détail comment l'on pouvait schématiser les autres lois d'essences explicitées par Husserl à propos de la perception, et en particulier celles concernant les esquisses d'objets (*Abschattungen*).⁶⁵ Nous ne pouvons pas aborder ici ces problèmes qui relèvent de ce que D. Marr a appelé l'esquisse 2 1/2D. Disons simplement que les contours apparents d'un corps spatial fournissent l'exemple le plus frappant et le plus probant de moments dépendants qui, parcequ'ils peuvent se déformer continûment — *fusionner* — les uns dans les autres, permettent une *anticipation* de données virtuelles (inférence d'autres contours apparents à partir d'un contour apparent donné). Cette anticipation est constitutive de l'effet de transcendance objective. Sur ce point la description phénoménologique se trouve parfaitement corroborée par les théories perceptives. Par exemple, dans un article concernant les singularités pouvant apparaître

⁶⁴ Kant avait déjà introduit une différence fondamentale entre l'espace phénoménologique comme forme de l'intuition et l'espace géométrisé comme “intuition formelle”. Cf. Petitot [1991c].

⁶⁵ Cf. Petitot [1990b] et [1992b].

génériquement dans les déformations de contours apparents, Jan K enderink conclut :

“consequently, if an observer has been permitted to visually explore a certain body by means of changing his vantage point voluntarily, he can gather enough information to predict future changes of the visual image [anticipation]. He is able [...] to interpret such changes as proprioceptive, and may consider the object as an unchanging entity, despite the changing visual input [unité et identité objectives]. Our geometrical theory [la théorie des singularités] enables us to understand the structure of the observer's internal models of external bodies [théorie internaliste de l'intentionnalité perceptive]”.⁶⁶

Les lois husserliennes concernant les esquisses perceptives sont sch matisables par la théorie mathématique des contours apparents ( quivalence entre un objet et la *famille* de ses contours apparents). Celle-ci fait un usage essentiel (et nécessaire) de la théorie des singularités, de la théorie des jets, de la théorie de la stabilité structurelle et de la théorie des grassmanniennes (qui généralise celle des espaces projectifs). Ces théories, qui sont toutes des théories fondamentales de la géométrie et de la topologie différentielles modernes, interviennent donc de façon constitutive dans le programme de naturalisation de la phénoménologie.

Nous avons explicité dans de nombreux autres travaux la façon dont la théorie thomienne permet de modéliser en termes *de physique qualitative* l'émergence *objective* de structures morphologiques dans les substrats matériels.⁶⁷ Nous n'aborderons donc pas ces points ici. Nous dirons en revanche quelques mots dans cette dernière section sur les synthèses noétiques (les actes mentaux) qui sont corrélatives de la loi noématique de dépendance.

Le schématisme morphodynamique de la loi de dépendance est d'ordre noématique objectif. Mais, pour une conscience concrète, il est le produit de “synthèses noétiques”, c'est-à-dire en langage actuel, d'algorithmes cognitifs neuronalement implémentés appartenant à la vision computationnelle.

Pour ne pas allonger démesurément cette étude, nous ne traiterons ici qu'un seul exemple, concernant le niveau rétinien.

⁶⁶ K enderink, van Doorn [1976], p. 59.

⁶⁷ Cf. en particulier Petitot [1992b], [1992d].

Signalons toutefois que la prise en compte de certaines structures corticales et en particulier celles des colonnes et hypercolonnes du cortex visuel primaire serait essentielle pour notre propos. En effet, depuis les travaux de Hubel et Wiesel, on sait que le système visuel est à même d'associer à des localisations rétiniennes (préservées par rétinitopie) des éléments locaux (par exemple des orientations ou des directions). Cela permet au système d'implémenter *des champs d'éléments locaux* (par exemple des champs de directions). Or ces champs (que l'on appelle en géométrie différentielle des *feuilletages* dans le cas de cet exemple) sont *des sections de fibrés* ayant pour base le champ rétinien et pour fibre l'espace des éléments locaux possibles (par exemple l'espace projectif des directions).⁶⁸ C'est dire que, *de par leur architecture neuro-anatomique, les (hyper)-colonnes implémentent des fibrations*. La théorie des jets évoquée plus haut est essentielle dans la mesure où elle montre que le problème de la reconstruction d'un objet à partir de ses contours apparents est résoluble au moyen de champs de données différentielles (les jets précisément), ces données étant accessibles au moyen de processeurs structurés en (hyper)-colonnes. Il semble qu'il en aille de même pour le traitement des couleurs — existence de colonnes de couleurs — même si celui-ci fait intervenir d'autres zones corticales et d'autres types de structures.⁶⁹

On peut montrer que les descriptions husserliennes et leur schématisation thomienne correspondent très précisément à la façon dont le système visuel traite (dès les niveaux précoces de la transduction rétinienne) le signal optique.

On sait que la rétine est essentiellement composée de trois types de couches de cellules : les photorécepteurs, les cellules bipolaires et les cellules ganglionnaires. Ces dernières, dont les axones sont les fibres du nerf optique, sont caractérisées par la structure de leur

⁶⁸ De nombreux travaux récents ont montré que le codage des éléments locaux est de type "accrochage de fréquence". Les colonnes fonctionnent comme des oscillateurs faiblement couplés dont la fréquence dépend de l'intensité locale du stimulus. Le couplage produit des phénomènes de synchronisation et de mise en phase qui permettent d'expliquer sur la base de critères strictement temporels les segmentations des scènes visuelles en objets.

⁶⁹ Cf. Buser, Imbert [1987].

champ récepteur (CR), c'est-à-dire par l'ensemble des photorécepteurs auxquels elles se trouvent reliées. Une donnée fondamentale de la neurophysiologie rétinienne est que ces champs sont organisés de façon concentrique par un antagonisme centre/périphérie. Les cellules ganglionnaires qui sont des analyseurs spatiaux sont des cellules énergétiques, toniques, à fort gradient d'antagonisme centre/périphérie et à résolution spatiale élevée. Elles agissent sur le signal optique $I(x,y)$ comme des filtres, c'est-à-dire par *convolution* du signal I avec le *profil récepteur* (PR) de leur CR, qui est une approximation de laplacien de gaussienne $\nabla^2 G$. Cette remarque a permis à Marr de clarifier *la fonction* de l'antagonisme centre/périphérie. Elle est de détecter *les discontinuités qualitatives* encodées dans le signal. Il s'agit du célèbre critère dit de *zero-crossing*. L'idée en est simple. Explicitons-la en dimension 1.

Soit $f(x)$ une fonction différentiable réelle d'une variable réelle. Une discontinuité se caractérise par un pic (distribution δ de Dirac) de la dérivée première f' et, pour la dérivée seconde f'' , par une traversée de zéro (*zero-crossing*) encadrée par deux pics de signes opposés. Quelle opération la convolution $\nabla^2 G * I$ effectue-t-elle? Comme il est trivial de vérifier que $(\nabla^2 G) * I = \nabla^2 (G * I)$, on voit qu'il s'agit : (i) de *lisser* le signal à une certaine *échelle* définie par G (convolution $G * I$)⁷⁰ ; (ii) de considérer les dérivées secondes (laplacien).

Or, il existe dans la rétine des champs de cellules ganglionnaires *d'échelles différentes*. Cela conduit à l'hypothèse que la vocation fonctionnelle de ce remarquable dispositif neurophysiologique est d'être un processeur d'images effectuant des analyses spatiales multi-fréquences qui détectent les discontinuités qualitatives localement et à plusieurs échelles. Cela permet de caractériser les discontinuités *objectives* comme celles qui sont détectées à plusieurs échelles.

La structuration morphologique des images commence donc, dès les stades les plus précoces de la perception visuelle, comme un processus ascendant ("*bottom-up*") et "*data-driven*". Elle fournit la base de représentations ultérieures, plus symboliques et de plus haut

⁷⁰ Rappelons le lien entre lissage et *Verschmelzung* (cf. §§ IV.2 et V.2).

niveau. Comme Marr l'a souligné, “zero-crossing provides a natural way of moving from an analogue or continuous representation like the two-dimensional image intensity values $I(x, y)$ to a discrete, symbolic representation”.⁷¹

C'est dire que le morphologique se situe bien entre le continu physique et le discret symbolique. Ses singularités (discontinuités qualitatives) concentrent l'information significative objective (“intrinsèque”) contenue dans l'image.

“The raw primal sketch is a very rich description of an image since it contains virtually all the information in the zero-crossings from several channels. Its importance is that it is the first representation derived from an image whose primitives have a high probability of reflecting physical reality directly”.⁷²

Autrement dit, *la rétine implémente neurophysiologiquement un algorithme de traitement local et multi-échelle du signal optique qui se révèle être exactement corrélatif du schématisme morphodynamique de la loi d'essence husserlienne*. Dans ce cas particulier très simple (mais exemplaire), on peut donc donner un sens technique cognitif clair et précis — mathématique, algorithmique (computationnel) et neuro-physiologique — à la corrélation noèse/noème. Tel est le sens d'une naturalisation de la phénoménologie. L'eidétique descriptive s'y convertit en une *physique mathématique* des processus cognitifs sous-jacents. Qui plus est, cette physique mathématique réalise un *fonctionnalisme dynamique* concernant l'émergence macroscopique de structures morphologiques (pôle noématique). D'où le concept de ce que nous avons proposé d'appeler une “*phéno-physique*”.

L'interprétation mathématique de l'algorithme de Marr est fournie par l'algorithme *des ondelettes*. Il est devenu ces dernières années l'un des outils les plus puissants de l'analyse.⁷³ Il montre comment il est possible de *compresser* une image *sur la base de sa structure intrinsèque*.

⁷¹ Marr [1982], p. 67.

⁷² Ibid., p. 71.

⁷³ Pour une introduction à la théorie des ondelettes cf. Meyer [1989], Mallat-Zhong [1989].

Ces résultats peuvent être utilisés pour permettre la résolution du problème fondamental de la perception, qui est de reconstruire une scène 3D à partir de son image 2D. Or, ce problème *inverse* (le problème “direct” étant celui de la projection “scène 3D \rightarrow image 2D”) est *mal posé* (au sens mathématique du terme). On peut faire l'hypothèse que pour le résoudre de façon si efficace, le système perceptif applique la stratégie suivante : (i) la prise en compte des données sensorielles et de leurs régularités statistiques ; (ii) une connaissance *a priori* sur le problème à résoudre ; (iii) le principe de *maximisation de l'entropie* de toutes les hypothèses compatibles avec (i) et (ii).⁷⁴

Cette façon profonde de voir les choses — qui est celle des mathématiciens et des physiciens statisticiens⁷⁵ — est philosophiquement très pertinente. En effet, la connaissance *a priori* qu'elle introduit est que l'image doit pouvoir être organisée morphologiquement par un système de discontinuités qualitatives objectives. Or *cet a priori est exactement celui fourni par la schématisation morphodynamique des lois synthétiques a priori dégagées par Husserl.*

Un fait fondamental qu'il faut souligner à propos de ces algorithmes de vision computationnelle est que la contrainte de *compression* de l'information⁷⁶ — qui est une contrainte générale sur les processus de *traitement* — conduit tout naturellement à l'analyse *morphologique* de structures géométriques objectives stables. On a là une exemplification technique spectaculaire de la signification cognitive (computationnelle) de la corrélation noëse/noème. Côté noématique, on trouve une idéalité spatio-temporelle morphologique (fondée dans l'idéalité du continu), phénoménologiquement descriptible et mathématiquement formalisable. Côté noétique, on trouve des algorithmes de traitement

⁷⁴ Sur le principe de maximisation de l'entropie, qui fonde la possibilité des inférences inductives, cf. les actes du Colloque *From Statistical Physics to Statistical Inference and back* organisé par Peter Grassberger et Jean-Pierre Nadal à Cargèse en septembre 1992.

⁷⁵ Cf. Mumford, Shah [1988].

⁷⁶ La rétine comprime considérablement l'information : passage d'environ 160 millions de photorécepteurs à environ 1 million de fibres dans le nerf optique.

d'information. L'intermédiaire se fait à travers une théorie du signal. Mais il existe bien une *corrélation* entre les deux pôles respectivement noétique et noématique puisque des contraintes *sui generis* de l'un (ici la contrainte de compression) permettent de reconstruire l'autre (l'analyse géométrique qualitative).

Conclusion

Ce que nous venons de brièvement esquisser à propos de l'esquisse 2D peut être généralisé à l'esquisse 21/2D et au niveau des représentations 3D. En ce qui concerne l'esquisse 21/2D — centrale dans la théorie de Marr — nous avons montré ailleurs,⁷⁷ en convergence avec certains travaux de Jan Koenderink, que la structure en colonnes et hypercolonnes du cortex visuel primaire pouvait servir à implémenter un calcul de jets qui lui-même permet de résoudre mathématiquement le problème de l'équivalence entre un objet et la famille de ses contours apparents (cf. plus haut). Cette théorie schématise morphologiquement les lois d'essence de la perception par esquisses. Ici encore le synthétique a priori se trouve mathématisé par des structures morphologiques qui finalisent les algorithmes et fonctionnent comme connaissance a priori.

Évidemment, une question centrale se pose, celle de la représentation interne neuronale des structures géométriques, et avant tout de l'espace. Au niveau d'une telle représentation interne seules comptent les relations fonctionnelles. L'ordre spatial réalisant l'interface externe/interne doit donc être converti en un *ordre fonctionnel interne*. Comme l'a profondément expliqué Jan Koenderink, cet ordre fonctionnel repose sur la structure *de corrélation temporelle* des signaux véhiculés par les fibres du nerf optique, la corrélation étant due au *recouvrement* des champs récepteurs des cellules ganglionnaires rétiniennes.

“The two-dimensionality of the visual field is objectively present in the cross-correlation structure of optic nerve signals, it exists independently from an

⁷⁷ Cf. Petitot [1990b].

external observer's description of the retina as a two-dimensional receptor array".⁷⁸

Étant donnée la rétinotopie, la géométrie se traduit par des corrélations temporelles. Mais, réciproquement, on peut montrer mathématiquement que *des corrélations temporelles imposées par des contraintes neuro-anatomiques d'architecture équivalent à une structure géométrique*. La géométrie n'a donc pas à être "reconstruite" dans le système nerveux central. *Elle est encodée dans l'ordre fonctionnel interne*.

"Thus the most primitive spatial notions in vision (e.g. 'cohesive multiply — say two fold — extended simultaneous presence') are neither "posited" (space as a man-made artifice) nor "extracted" (that is found in the world), but are implicit bounds on the system's potentialities, constraints on the set of states the system can possibly assume. (This remind us of Kant's notion of innate space ideas). These constraints are fixed in the system's anatomy [...] although not in properties like 'somatopy' but in nervous connections that constrain the freedom of the nervous net as a whole".⁷⁹

En ce sens, le synthétique a priori, dont nous avons explicité l'idéalité transcendantale, se réalise concrètement comme un format de traitement d'information et un ensemble de structures de données imposés par l'architecture nerveuse. On retrouve ici sa double interprétation transcendantale/innéiste.

Rien ne s'oppose plus, ni en droit ni en fait, à la naturalisation de la phénoménologie de la perception. Celle-ci se révèle avoir des liens profonds tant avec les théories cognitives contemporaines qu'avec la physique qualitative. Une mathématique morphologique et une "phéno"-physique de la manifestation sensible sont désormais à même d'assumer les fonctions de l'eidétique descriptive, du synthétique a priori et du schématisme transcendantal généralisé.

Dans l'interprétation que nous en avons donnée, l'Esthétique transcendantale et le synthétique a priori constituent, à travers l'idéalité du géométrique, *le fondement de l'intentionnalité*

⁷⁸ Kœnderink [1984a], p. 35.

⁷⁹ Kœnderink [1984b], p. 50.

phénoménologique. Leur dénégalion logiciste aura piégé le problème de l'intentionnalité dans d'insurmontables paralogismes. Dans la sphère de la conscience perceptive, leur fonction *transcendantale* — exprimée par le schématisme morphodynamique — est identiquement une fonction *cognitive* qui peut être réalisée à travers des algorithmes effectifs, explicitement implémentés dans des architectures neurales.

Jean PETITOT
EHESS Paris

BIBLIOGRAPHIE

- ANDLER, D., (éd.), 1992. *Introduction aux Sciences Cognitives*, Paris, Gallimard.
- ANDLER, D., PETITOT, J., VISETTI, Y.M., 1991. "Dynamical Systems, Connectionism and Linguistics", *Compositionality in Cognition and Neural Networks*, Colloque de Royaumont.
- BUSER, P., IMBERT, M., 1987. *Vision*, Paris, Hermann.
- CG, 1992. *1830-1930 : a Century of Geometry*, (L. Boi, D. Flament, J.-M. Salanskis éd.), Berlin, Springer.
- DREYFUS, H., 1982. "Husserl's Perceptual Noema", in *Dreyfus (éd.) [1982]*.
- DREYFUS, H., 1991. "Husserl et les Sciences Cognitives" et "L'épiphénoménologie de Husserl", PPC 1991, 1-29 et 57-77.
- DREYFUS, H. (éd.), 1982. *Husserl, Intentionality and Cognitive Science*, Cambridge (Mass.), MIT Press.
- EMG, 1992. *Émergence dans les Modèles de la Cognition*, (A. Grumbach, E. Bonabeau éd.), Paris, Télécom.
- HOLENSTEIN, E., 1992. "Phenomenological Structuralism and Cognitive Semiotics" (R. Benatti éd.), *Scripta Semiotica*, 1, 133-158, (Peter Lang).
- HUSSERL, E., 1900-1901. *Logische Untersuchungen*, Max Niemeyer (1913).
- HUSSERL, E., 1907. *Chose et Espace*, Paris, Presses Universitaires de France (1989).
- HUSSERL, E., 1913. *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie*, Husserliana III-IV.
- HUSSERL, E., 1950. *Idées Directrices pour une Phénoménologie*, (trad. P. Ricoeur), Paris, Gallimard.
- HUSSERL, E., 1969-1974. *Recherches Logiques*, Paris, Presses Universitaires de France.

- HUSSERL, E., 1982. *Idées directrices pour une Phénoménologie II : Recherches phénoménologiques pour la Constitution*, (trad. E. Escoubas), Paris, Presses Universitaires de France.
- JACKENDOFF, R., 1983. *Semantics and Cognition*, Cambridge, MIT Press.
- JACKENDOFF, R., 1987. *Consciousness and the Computational Mind*, Cambridge, MIT Press.
- KOENDERINK, J.J., VAN DOORN, A.J., 1976. "The Singularities of the Visual Mapping", *Biological Cybernetics*, 25, 51-59.
- KOENDERINK, J.J., 1984a. "Simultaneous Order in Nervous Nets from a Functional Standpoint", *Biological Cybernetics*, 50, 35-41.
- KOENDERINK, J.J., 1984b. "Geometrical Structures Determined by the Functional Order in Nervous Nets", *Biological Cybernetics*, 50, 43-50.
- LC, 1992. *Le Labyrinthe du Continu* (J.M. Salanskis, H. Sinaceur, éd.), Springer, Paris.
- LONGO, G., 1992. "Reflexions on Formalism and Reductionism in Logic and Computer Science", *Technical Report*, DMI, Ecole Normale Supérieure, Paris.
- LTC, 1989. *Logos et Théorie des Catastrophes* (Colloque de Cerisy en l'honneur de R. Thom, J. Petitot éd.), Genève, Ed. Patiño.
- MALLAT, S.G., ZHONG, S., 1989. "Complete Signal Representation with Multiscale Edges", *Technical Report n° 483*, Department of Computer Sciences, New-York University.
- MARR, D., 1982. *Vision*, San Francisco, Freeman.
- McINTYRE, R., 1986. "Husserl and the Representational Theory of Mind", *Topoi*, 5, 101-113. (Traduction française dans *PPC [1991]*).
- McINTYRE, R., WOODRUFF SMITH, D., 1982. "Husserl's Identification of Meaning and Noema", in *Dreyfus (éd.) [1982]*.
- MERLEAU-PONTY, M., 1968. *Résumés de Cours. Collège de France 1952-1960*, Paris, Gallimard.
- MEYER, Y., 1989. "Ondelettes, Filtres miroirs en quadrature et traitement numérique de l'image", *Gazette des Mathématiciens*, 40, 31-42.
- MULLIGAN, K., SIMONS, P., SMITH, B., 1984. "Truth-Makers", *Philosophy and Phenomenological Research*, XLIV, 3, 287-321.
- MUMFORD, D., SHAH, J., 1988. "Boundary Detection by Minimizing Functionals", *Proceedings IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Conference*, Ann Arbor, Michigan.
- PACHERIE, E., 1992. *Perspectives physicalistes sur l'Intentionnalité*, Thèse, EHESS, Paris.
- PACHOUD, B., 1990. *Présentation de quelques thèmes phénoménologiques husserliens pertinents pour les sciences cognitives*, Mémoire de DEA, EHESS, Paris.
- PETTITOT, J., 1979a. "Infinitesimale", *Enciclopedia Einaudi*, VII, 443-521, Einaudi, Turin.

- PETITOT, J., 1979b. "Locale/Globale", *Enciclopedia Einaudi*, VIII, 429-490, Einaudi, Turin.
- PETITOT, J., 1982. *Pour un Schématisme de la Structure*, Thèse, Paris, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- PETITOT, J., 1985a. *Morphogenèse du Sens*, Paris, Presses Universitaires de France.
- PETITOT, J., 1985b. *Les Catastrophes de la Parole*, Paris, Maloine.
- PETITOT, J., 1986. *Le "morphological turn" de la Phénoménologie*, Documents du CAMS, EHESS, Paris.
- PETITOT, J., 1987. "Mathématique et Ontologie", *La scienza tra filosofia e storia in Italia nel Novecento*, (F. Minazzi, L. Zanzi, éd.), 191-211, Edizione della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Rome.
- PETITOT, J., 1989a. "Hypothèse localiste, Modèles morphodynamiques et Théories cognitives : Remarques sur une note de 1975", *Semiotica*, 77, 1/3, 65-119.
- PETITOT, J., 1989b. "Structuralisme et Phénoménologie", *LTC [1989]*, 345-376.
- PETITOT, J., 1989c. "Modèles morphodynamiques pour la Grammaire cognitive et la Sémiotique modale", *RSSI (Canadian Semiotic Association)*, 9, 1-2-3, 17-51.
- PETITOT, J., 1989d. "Forme", *Encyclopædia Universalis*, XI, 712-728, Paris.
- PETITOT, J., 1989e. "Rappels sur l'Analyse non standard", *La Mathématique non standard*, 187-209, Editions du CNRS, Paris.
- PETITOT, J., 1990a. "Logique transcendantale, Synthétique a priori et Herméneutique mathématique des Objectivités", *Fundamenta Scientiæ*, (numéro en l'honneur de L. Geymonat), 10, 1, 57-84.
- PETITOT, J., 1990b. "Le Physique, le Morphologique, le Symbolique. Remarques sur la Vision", *Revue de Synthèse*, 1-2, 139-183.
- PETITOT, J., 1991a. "Why Connectionism is such a Good Thing. A Criticism of Fodor's and Pylyshyn's Criticism of Smolensky", *Philosophica*, 47, 1, 49-79.
- PETITOT, J., 1991b. "Idéalités mathématiques et Réalité objective. Approche transcendantale", *Hommage à Jean-Toussaint Desanti*, (G. Granel éd.), 213-282, Mauvezin, Editions TER.
- PETITOT, J., 1991c. *La Philosophie transcendantale et le Problème de l'Objectivité*, Paris, Editions Osiris.
- PETITOT, J., 1991d. "Syntaxe topologique et Grammaire cognitive", *Langages*, 103, 97-128.
- PETITOT, J., 1992a. "Actuality of Transcendental Aesthetics for Modern Physics", *CG [1992]*, 273-304.
- PETITOT, J., 1992b. *Physique du Sens*, Editions du CNRS, Paris.
- PETITOT, J., 1992c. "Continu et Objectivité", *LC [1992]*, 239-263.
- PETITOT, J., 1992d. "Matière-Forme-Sens : un problème transcendantal", *Les Figures de la Forme*, (J. Gayon, J.J. Wunenburger éd.), Paris, L'Harmattan.

- PETITOT, J., 1993a. "Topologie phénoménale. Sur l'actualité scientifique de la phusis phénoménologique de Maurice Merleau-Ponty", *Colloque Maurice Merleau-Ponty de Grenoble*, (à paraître).
- PETITOT, J., 1993b. "Attractor Syntax", *Conference on Dynamic Representations in Cognition*, Indiana University, (à paraître chez MIT Press).
- PETITOT, J., SMITH, B., 1991. "New Foundations for Qualitative Physics", *Evolving Knowledge in Natural Science and Artificial Intelligence*, (J.E. Tiles, G.J. McKee, G.C. Dean éds.), 231-249, Pitman, London.
- POLI, R., 1992. *Ontologia formale*, Marietti, Genova.
- PPC, 1991. *Phénoménologie et Psychologie cognitive*, (E. Rigal éd.), *Les Etudes Philosophiques*, 1, 1991.
- PROUST, J., 1990. "De la difficulté d'être naturaliste en matière d'intentionnalité", *RS [1990]*, 13-32.
- PYLYSHYN, Z., 1986. *Computation and Cognition*, Cambridge, MIT Press.
- RS, 1990. "Sciences cognitives : quelques aspects problématiques", (J. Petitot éd.), *Revue de Synthèse*, IV, 1-2.
- SALANSKIS, J.-M., 1991. *L'Herméneutique formelle : L'Infini - Le Continu - L'Espace*, Paris, Editions du CNRS.
- SCHOLTZ, E., 1992. "Riemann's Vision of a New Approach to Geometry", *CG [1992]*, 22-34.
- SCHUHMANN, K., SMITH, B., 1985. "Against Idealism : Johannes Daubert vs Husserl's *Ideas I*", *Review of Metaphysics*, 39, 763-793.
- SMITH, B., (éd.), 1982. *Parts and Moments. Studies in Logic and Formal Ontology*, Vienne, Philosophia Verlag, Analytica.
- SMITH, B., (éd.), 1988, *Foundations of Gestalt Theory*, Munich, Philosophia Verlag.
- SMITH, B., MULLIGAN, K., 1982. "Parts and Moments : Pieces of a Theory", *Smith (éd.) [1982]*, 15-109.
- SMOLENSKY, P., 1988. "On the Proper Treatment of Connectionism", *The Behavioral and Brain Sciences*, 11, 1-23.
- SMOLENSKY, P., LEGENDRE, G., MIYATA, Y., 1992. *Principles for an Integrated Connectionist/Symbolic Theory of Higher Cognition*, Technical Report, Department of Computer Science, University of Colorado at Boulder.
- THOM, R., 1972. *Stabilité structurelle et Morphogénèse*, New York-Paris, Benjamins, Ediscience.
- THOM, R., 1980. *Modèles mathématiques de la Morphogénèse*, Paris, Christian Bourgeois.
- VISETTI, Y.M., 1990. "Modèles connexionnistes et représentations structurées", *Modèles Connexionnistes* (D. Memmi, Y.M. Visetti éds.), *Intellectica*, 9-10, 167-212.