

Rapports du CREA, n° 0503

2005

Jean Petitot

EHESS, CREA

## INTRODUCTION

J'ai eu le privilège de pouvoir longuement discuter avec Gilles Châtelet de problèmes de philosophie des sciences, d'une part dans le cadre des réunions que nous organisons dans les années 80 avec Bernard Teissier et Alain Chenciner dans un local sur le Canal de l'Ourcq et, d'autre part, pendant la rédaction de ses *Enjeux du Mobile* qui s'est effectuée en grande partie dans des locaux de mon centre de l'EHESS, 10 rue Monsieur le Prince.

L'un des problèmes majeurs de philosophie des sciences auquel Gilles a consacré son inspiration et son talent, peut-être même le problème qui l'a le plus hanté, est celui du *physico-mathématique*, de ce qu'il appelait " le physico-mathématique comme tel " (p. 27)<sup>1</sup>.

Parler de physico-mathématique, c'est penser l'*unité* des mathématiques et de la physique, et ce défi possédait pour Gilles deux types d'aspects :

1. des aspects philosophiques généraux,
2. des aspects techniques particuliers.

Pour ces deux types d'enjeux, il lui fallait livrer un combat contre des traditions qu'il jugeait contraires à l'authentique aventure de la pensée dans les sciences.

### I. UNE PHILOSOPHIE DIALECTIQUE DES PROBLÈMES

En ce qui concerne les aspects philosophiques généraux, penser le physico-mathématique " comme tel ", c'est d'abord refuser la séparation entre mathématiques et physique, la première étant limitée à un rôle syntaxique de forme linguistique et la seconde à un rôle sémantique de contenu empirique matériel et contingent. Pour Gilles, le physico-mathématique n'était pas

" la traduction d'un "contenu" physique dans un "langage" mathématique " (p. 27)

---

<sup>1</sup> La pagination est celle des *Enjeux du Mobile*.

Il refusait l'analogie devenue banale au cours du XXe siècle entre, d'un côté, la syntaxe et la sémantique en théorie logique des modèles et, d'un autre côté, les mathématiques et la réalité.

Je partage ce point de vue. Il n'est pas vrai que le monde phénoménal soit en position de « sémantique » pour la « syntaxe logique » des énoncés scientifiques. Le monde n'est pas une dénotation et une référence pour des formalismes théoriques. On ne peut pas établir d'analogie entre le rapport mathématiques / réalité et le rapport syntaxe / sémantique car le rapport mathématiques / réalité est un jeu à quatre termes entre, côté mathématiques, le rapport syntaxe / sémantique et, côté réalité, le rapport diversité phénoménale / catégorialité conceptuelle. Il existe une relation *interprétative* reliant des structures mathématiques spécifiques aux concepts catégoriaux et aux principes déterminant l'essence objective de la réalité physique. Que cette herméneutique puisse permettre, à travers la générativité algorithmique propre aux mathématiques, de *reconstruire* le réel observé est un " miracle " qui demeure encore essentiellement incompris et qui passe par une *créativité* spécifique que la pensée philosophique doit accompagner. Selon Gilles, la philosophie n'avait donc pas à se satisfaire d'une épistémologie générale traitant des problèmes généraux de l'induction, de la vérification - falsification, etc. Elle devait aussi, et peut-être surtout, développer l'auto-réflexion métaphysique des constructions techniques donnant tout son sens au physico-mathématique.

Les conséquences de cet aspect philosophique du physico-mathématique sont importantes.

1. D'abord évidemment la critique constante d'un certain type trop dogmatique de positivisme logique :

" Le logicisme, comme mathématique appliquée au calcul des liaisons de propositions et à l'administration de la preuve, ne saurait prétendre atteindre *ce qui fait époque* dans le développement du savoir physico-mathématique ". (p. 30)

2. Ensuite, le refus d'un point de vue opérationnaliste considérant les mathématiques comme un outil, comme une sorte d'adjuvant pour les disciplines empiriques. Selon Gilles, il fallait penser les rapports mathématiques / physique

" sur un autre mode que celui de la subordination, de l'application ou de l'utilisation ". (p. 13)

Une conception opérationnaliste n'est en effet possible que si l'on considère que la physique concerne une réalité indépendante possédant un contenu ontologique autonome, transcendant les mathématiques et que les mathématiques ne permettraient que de simplement mettre en forme, un peu comme le langage met en forme notre

expérience perceptive. Or cela est complètement faux, la science ne décrivant aucun contenu ontologique transcendant.

S'il y a bien une *unité* du physico-mathématique, alors les mathématiques ne s'appliquent pas. Elles *s'impliquent* et sont *constitutives* du concept même de réalité physique. Mais évidemment, étant donné le problème philosophique fort dur posé par les *idéalités* mathématiques (la question du platonisme), arriver à penser leur implication constitutive dans une réalité externe ne va pas de soi.

3. En ce qui concerne le rapport des sciences à la philosophie, les conséquences sont tout aussi fondamentales. Le point essentiel est que c'est l'unité du physico-mathématique lui-même qui exige un véritable " engagement " *métaphysique*. Car pour la penser il faut " d'imposantes infrastructures " qui impliquent " toute la métaphysique ". Comme le disait joliment Gilles avec son sens aigu de la métaphore

" le physico-mathématique actuel a véritablement la métaphysique à fleur de peau " (p. 27).

Contrairement à ce qu'affirmait Heidegger dans son célèbre aphorisme " die Wissenschaft denkt nicht ", la science pense et, selon Gilles Châtelet, elle pense pour autant que la pensée de l'unité Mathématiques-Physique est *métaphysique*. D'où ce qu'il appelait la " triple cohérence " MMP (p. 24) *Mathématiques, Métaphysique, Physique*. Il s'agissait là chez lui d'une véritable topique.

4. D'où son combat constant non seulement, comme nous l'avons vu, contre un certain dogmatisme logiciste, ou une conception trop empiriste et opérationnaliste des sciences ou une conception trop utilitariste de la philosophie, mais aussi contre une philosophie des sciences qui se bornerait de par trop au commentaire et à l'histoire (p. 20-21). Le philosophe n'a pas à se faire " l'humble majordome des savants " et n'a pas à

" persévérer dans la paraphrase d'arrière-garde qui aimerait réconcilier technique et humanisme ".

Il n'a pas à

" offrir à la science un supplément d'âme ".

Mais alors que peut-il apporter ? Réponse : *le génie de la problématicité*.

On trouve chez Gilles Châtelet tout à fait le même souffle que chez Albert Lautman, celui du sens du problématique intimement lié à celui de l'unité.<sup>2</sup> On connaît les remarquables analyses de Gilles Deleuze sur Lautman. Je pense qu'elles ont

---

2 Pour une introduction à la philosophie d'A. Lautman, cf. Petitot [1987].

profondément inspiré Gilles comme l'avaient inspiré celles de Cavailles qui affirmait dans *Méthode axiomatique et formalisme* qu'il faut toujours retrouver

" l'intuition centrale constituant l'unité centrale d'une théorie ".

Je crois que Bernard Teissier a évoqué un point analogue avec l'analogie du *reverse engineering*. Albert Lautman a expliqué que les mathématiques

" racontent, mêlée aux constructions auxquelles s'intéresse le mathématicien, une autre histoire plus cachée, et faite pour le philosophe " (*Essai sur l'Unité des Mathématiques*, p. 204).

L'histoire des mathématiques et le mouvement de leurs théories se trouvent animés par une sorte de " dialectique " d'Idées problématiques qui se réalisent à travers la constitution de nouveaux schémas de structures. L'exemple typique en était pour Lautman celui de la dialectique local / global. Dans *Différence et Répétition*, Gilles Deleuze a beaucoup insisté sur cette conception. Selon Gilles Châtelet, la pensée doit accompagner cette créativité scientifique.

En fait, il existait chez Gilles une authentique dimension *esthétique* à l'œuvre dans la topique MMP. En quelque sorte, il appliquait au savant créateur l'esthétique romantique du génie. Le génie " explorateur de l'invisible " (Proust) permet de transformer les intuitions et les expériences en formes partageables de connaissances. C'est, pourrait-on dire, un conquérant d'idées platoniciennes. Et, sur ce plan, le savant et l'artiste se ressemblent. Permettez-moi de citer Proust (en fait Swann) à propos du musicien Vinteuil :

" Ô audace aussi géniale peut-être, se disait-il, que celle d'un Lavoisier, d'un Ampère, l'audace d'un Vinteuil expérimentant, découvrant les lois secrètes d'une force inconnue, menant à travers l'inexploré, vers le seul but possible, l'attelage invisible auquel il se fie et qu'il n'apercevra jamais ! " (*La Recherche du Temps perdu*, II, p. 172-173).

## II. LA GÉOMÉTRISATION DE LA PHYSIQUE

En ce qui concerne maintenant les aspects techniques, la question du physico-mathématique était focalisée chez Gilles Châtelet sur celle de la *géométrisation* de la physique.<sup>3</sup> Dans pratiquement tous ses grands textes, Gilles a combattu la conception, disons pour aller vite (beaucoup trop vite) " cartésienne ", de l'espace comme étendue, comme simple forme de l'extériorité, comme être hors de soi de la nature. Comme il le dit dans son texte étonnant sur Grassmann (p. 156): l'étendue comme forme de l'extériorité

---

3 Sur ce thème on consultera aussi le bel ouvrage de Georges Lochak [1994].

" n'est qu'un produit définitif, un agrégat transparent de parties absolument extérieures, rigoureusement actuelles, clairement liées ".

Cette spatialité purement extensive rend impossible l'unité du physico-mathématique, car maintenant ce n'est plus seulement l'opposition syntaxe / sémantique qui vient y faire obstacle mais également l'opposition contenant / contenu, l'espace devenant un contenant universel (une forme géométrique) " rempli " par un contenu physique empirique.

Il me semble que deux thèses métaphysiques se rejoignent dans la conception qu'avait Gilles du rôle de la géométrie dans le physico-mathématique.

1. La géométrie doit prendre en charge non seulement " l'extériorité " du mouvement avec, comme on le disait à l'époque de Leibniz, ses forces mécaniques " secondes " et " dérivatives ", mais aussi " l'intériorité " de la matière avec ses forces " primitives internes ".

2. Une géométrie de l'intériorité de la matière met en jeu d'une façon ou d'une autre une *négativité spatiale* fonctionnant comme " une immanence dialectique ". D'où le rapport de Gilles non seulement à Leibniz, mais aussi à Hegel et à la *Naturphilosophie* de Schelling.

Pour ma part, je partage la proximité de Gilles à la *dynamique* leibnizienne telle qu'il en parle dans *L'enchantement du virtuel*. Comme il le rappelle fort bien (pp. 48-53) cette dynamique conjugue substance, action et force. La *vis activa* y est une *entéléchie* " portée par elle-même à l'action ". Elle n'est pas géométrique au sens cartésien mais physico-mathématique, le calcul différentiel se révélant l'acte de naissance du physico-mathématique et l'espace se trouvant mieux conçu comme un *spatium* de monades,

" libre déploiement du pouvoir d'agir des forces internes ".

Métaphysiquement, ce problème est fort délicat. Chez Leibniz, il se décompose en deux sous problèmes.

1. Un problème *macrophysique* qui est celui de comprendre comment des *formes* sont possibles dans la nature.

2. Un problème *microphysique* qui est celui de comprendre les forces " primitives " internes aux corps matériels dont la mécanique décrit les mouvements externes " dérivatifs ".

En ce qui concerne le premier problème (macrophysique), l'œuvre de Leibniz est traversée par un conflit insurmontable entre une mécanique des forces et une dynamique des formes. Cette dernière est forcée de réhabiliter les anciens concepts aristotéliens de forme substantielle et d'entéléchie. Ce dilemme possède la structure d'une véritable antinomie dialectique.

Comme l'a montré André Robinet dans son ouvrage magistral *Architectonique disjonctive, Automates systémiques et Idéalité transcendante dans l'œuvre de G.W. Leibniz*<sup>4</sup>, elle oppose les deux hypothèses suivantes :

1. Les corps composés et organisés ne sont pas de véritables substances. En tant que composés ce ne sont que des êtres apparents. Ils n'existent que comme phénomènes congruents bien fondés, comme des agrégats et des assemblages spatiaux, sans unité propre, de monades composantes. Leur unité et leur individuation ne sont que nominales et résultent de la perception et du langage – donc de la subjectivité du mental – qui découpent dans la réalité des unités organiques qui, ontologiquement, ne sont que des agrégats. Il n'existe donc pas de substances composées ni de matière première et seules les monades sont des substances. Tous les phénomènes sont réductibles au seul mouvement local et l'unique fondement de l'apparaître se trouve dans le sujet.

2 Il existe au contraire des substances composées qui ne se réduisent pas à des substances simples nominalement composées et qui possèdent un répondant ontologique *per se*. Il existe un fondement ontologique de la composition et de l'organisation morphologiques de la manifestation phénoménale. Les corps composés sont des substances résultant de l'union d'une forme et d'une matière première au moyen de formes substantielles. Leur phénomène est bien fondé, véritable, lié à la matière seconde. Ce n'est pas une apparence et une projection mentale (pp. 13-15).

Il existe quatre principales versions du réalisme morphologique macrophysique (2) élaborées successivement par Leibniz.

(i) La réhabilitation des *formes substantielles* aristotéliennes, à partir de 1679, dans la correspondance avec Arnauld (elles avaient été rejetées entre 1668 et 1671 au profit d'un pan-mécanisme fondé uniquement sur la grandeur, la figure et le mouvement). Les formes substantielles sont l'*ens per se* des substances composées, leur principe d'individuation. Leur expression assure l'intelligibilité de leur action (cf. pp. 39-52).

(ii) La réhabilitation des *entéléchies* en 1691. Comme acte de la force, l'entéléchie conjugue forme substantielle et force. Elle permet à Leibniz de fonder *la Dynamique*. L'entéléchie est

"le principe de l'actualité et de la réalité dont la forme substantielle n'est plus que l'application aux substances vivantes et aux substances corporelles" (p. 64).

Il y a là fusion entre macrophysique et microphysique. En 1695, Leibniz introduit dans le *Système nouveau de la Nature* le concept de *forces primitives* (différentes des forces mécaniques dérivées) comme principe intérieur de l'action analogue à un principe vital organique.

---

4 Robinet [1986]. Les références à cet ouvrage seront faites dans le texte.

(iii) A partir de 1696, *la théorie monadologique* permet de faire la synthèse entre l'entéléchie et *la matière première* et d'élaborer les concepts d'action et d'énergie (cf. p. 73).

(iv) Enfin, entre 1712 et 1716, principalement dans la correspondance avec des Bosses, *le vinculum substantiale* permet de comprendre comment un lien substantiel entre monades, lien interprétable naturellement et physiquement, en arrive à constituer *la matière seconde*. Alors que les formes substantielles, les entéléchies et les monades ne font que

"conférer l'unité de la forme à la matière première" (p. 89),

le vinculum substantiale permet, selon André Robinet, de penser les corps comme d'authentiques "automates systémiques".

L'ensemble de ces théories successives provient de la constatation par Leibniz qu'il est impossible, seulement par la grandeur, la figure et le mouvement, de rendre compte de la diversité et de la structure des formes comme complexes de

"discontinuités observées dans la matière-étendue" (p. 29).

C'est le lien de la dynamique avec le problème de la forme qui établit le rapport avec la *Naturphilosophie* de l'idéalisme allemand à laquelle Gilles était si sensible. Ce problème ne commencera à être résolu qu'avec la géométrisation dynamique des processus morphologiques développée par René Thom.

Mais c'est le niveau microphysique, c'est-à-dire la Dynamique leibnizienne proprement dite, les forces primitives internes et la théorie monadologique, qui intéressaient Gilles.

Une des meilleures façons de comprendre ces enjeux métaphysiques est de regarder ce que devient la Dynamique dans l'interprétation kantienne de la mécanique newtonienne développée dans *Les premiers principes métaphysiques de la science de la nature*.

Comme *qualité* (et non pas comme quantité), la matière est *remplissement* de l'espace. Ce remplissement est très différent d'une simple "occupation" (anti-cartésianisme de Kant). C'est un processus dynamique et énergétique propre à "l'intériorité" substantielle de la matière. Mais l'intériorité substantielle, la substance-force réelle, est *hors espace*, bien qu'elle s'exprime spatialement, et, dans la mesure où elle est d'ordre nouménal, elle ne peut pas être introduite dans le domaine de l'objectivité (anti-leibnizianisme de Kant). Kant ne peut donc maintenir une telle intériorité substantielle qu'à titre de fondement. Elle doit être déterminée au moyen de sa seule extériorisation c'est-à-dire de sa spatio-temporalisation à travers le mouvement.

Contre Leibniz, Kant doit par conséquent conquérir un concept purement spatio-temporel de Dynamique qui ne relève plus de la chose en soi.

Pour cela Kant va élaborer dans la *Dynamique* le traitement mathématique des grandeurs intensives. Les catégories de la qualité et les principes associés que sont les “Anticipations de la Perception” se spécifient ici par le principe que l'intériorité dynamique de l'être physique s'externalise à travers des grandeurs intensives comme la vitesse ou l'accélération. Le lien organique, systématique, avec la cinématique s'exprime alors comme *un principe de covariance* relativement au groupe d'invariance de l'espace-temps. Ainsi apparaît chez Kant, après l'interprétation transcendantale du principe de relativité développée dans la *Phoronomie*, celle d'un autre principe fondamental, à savoir que l'être physique doit être décrit par des données différentielles variant de façon covariante. Bref, la *Dynamique* nous explique que, pour des raisons transcendantales, la Mécanique doit être une géométrie différentielle (et non pas une logique des propriétés).

On voit que ce traitement kantien de la dynamique dans les *Premiers principes* laisse entièrement ouvert le problème métaphysique du concept dynamique de matière. L'intériorité substantielle génératrice des qualités dynamiques demeure en fait hors physique. C'est un problème central abordé dans l'*Opus Postumum*<sup>5</sup> et légué par Kant à l'avenir.

Le remplissage de l'espace par la matière est une tension dynamique pour l'occupation. Il est le résultat du conflit *de forces fondamentales* attractives et répulsives, primitives, motrices et internes à la matière qui engendrent la cohésion des corps, leurs phases matérielles et leurs interactions. Ces forces fondamentales “primitives internes” – qui, répétons-le, doivent être bien distinguées des forces “dérivatives externes” que sont les forces mécaniques – sont beaucoup plus fondamentales que les forces extérieurement motrices et mécaniques traitées dans les *Premiers Principes*. Elles sont dynamiques:

“toutes les forces primitives de la matière sont dynamiques : les forces mécaniques sont seulement dérivées” (p. 37)<sup>6</sup>.

Elles ne sont pas motrices à travers des déplacements. Elles sont

“motrices en leurs parties, les unes par rapport aux autres dans l'espace occupé par la matière” (p. 75).

---

5 J'ai analysé ailleurs cette véritable "Critique de la Raison Physique" qu'est l'*Opus Postumum*. Cf. Petitot [1990], [1992] et [1994].

6 Dans cette section, la pagination est celle de l'*Opus Postumum* (Kant[1796-1803]).



Et, par extériorisation, engendrent des forces mécaniquement motrices tombant, elles, sous la législation des Analogies de l'expérience et des Postulats de la pensée empirique (p. 38).

Grâce à elles on peut comprendre la *présence* (i.e. la stabilité), la *formation* et la *composition* des corps car

“elles forment des corps qui déterminent eux-mêmes leur espace, selon la quantité et la qualité” (p. 39).

On peut comprendre

“une matière déterminant elle-même par ses propres forces sa figure et sa structure, et résistant à leur changement, originellement et de manière uniforme” (p. 47)

(résolution *philosophique* du problème initial de la *Dynamique* dans les *Premiers Principes*).

Il faudra attendre la théorie quantique des champs pour résoudre *mathématiquement* ce problème des forces primitives internes.

La thèse de Gilles Châtelet était que la topique MMP qui s'était mise en place à l'époque classique devait être continuée et prolongée au physico-mathématique contemporain. Il a développé l'idée, elle aussi très lautmanienne, d'une historicité, mieux d'une "dignité historique" (au sens heideggerien d'une temporalité non contingente du sens de l'être) du physico-mathématique, qui prendrait la forme d'une histoire de la géométrisation du physique. Et il est vrai qu'il est fascinant de voir à quel point l'histoire de cette géométrisation est métaphysiquement chargée.

Par exemple dans son chapitre sur *L'espace électrogéométrique* chez Faraday, Ampère, Hamilton et Maxwell, Gilles montre fort bien (p. 248) comment la mécanique classique repose sur les vecteurs classiques (polaires) alors que dans l'électromagnétisme ce sont les vecteurs axiaux (les "verseurs" ou les pseudo-vecteurs) qui comptent. Les vecteurs axiaux

" contraignent le géomètre à s'orienter dans l'espace entier. " (p. 236).

Ils présupposent une "latéralité" (rotation orthogonale à la direction du déplacement).

" Dans la première physique mathématique, ce sont des mouvements de translation (les règles "massives" du principe d'inertie) qui articulent mécanique et géométrie pure. " (p. 248).

Après cette période classique, les physiciens ont dû introduire de nouvelles entités tensorielles en relation avec une autre conquête décisive, celle des *champs*. Comme le disait Gilles,

" Faraday est le premier qui ait vu "palpiter" l'espace électromagnétique ".

C'est le rôle des lignes de force qui

" nouent comme une complicité secrète entre le physique et le géométrique "

et qui

" inventent une naturalité propre. " (p. 243).

De même dans son beau texte sur les théories de jauge, Gilles dégage la signification philosophique du fait que, dans les théories de jauge, c'est non seulement la catégorie de force (comme dans la relativité générale) mais aussi *la catégorie d'interaction* qui se trouve ramenée à des principes de symétries élargis. Depuis les travaux pionniers de Chen Ning Yang et Robert Mills (1954) sur l'invariance de jauge concernant l'isospin, il existe dans les théories de jauge deux classes de champs.

1) *Les champs fermioniques de matière* qui sont interprétés comme des sections de fibrés sur l'espace-temps. Les coordonnées des fibres sont les degrés *internes* de liberté et le groupe structural (i.e. le groupe de symétrie des fibres) exprime les *symétries internes* des particules.

2) *Les champs bosoniques de jauge* qui sont des champs d'interactions véhiculées par des particules virtuelles d'échange (des bosons) et sont interprétés comme des connexions sur ces fibrés. Les particules véhiculant les interactions sont par conséquent les quanta des champs de connexions sur les fibrés de matière.

Les *dérivations covariantes* permettent d'exprimer géométriquement les interactions. Le Lagrangien de Yang-Mills est la norme  $L^2$  de la courbure des connexions. Il est invariant sous l'action du groupe de jauge et l'espace-temps y contribue comme champ de jauge à travers la courbure scalaire de sa connexion.

Dans ce contexte, les théories de jauge ont réussi à engendrer les interactions en faisant dépendre les symétries *internes* des systèmes (qui sont des symétries globales apparemment non spatio-temporelles associées aux nombres quantiques des particules) de la *position* spatio-temporelle. Si on localise ainsi ces symétries internes et si l'on exige que les théories demeurent invariantes, on doit introduire des termes correctifs. On constate alors que ceux-ci redonnent exactement les termes d'interaction. Les forces et les interactions apparaissent ainsi, de façon générale, comme dérivables de principes de conservation *locaux*.<sup>7</sup>

Au moyen des formalismes variationnels, du théorème de Noether, des intégrales de Feynman et des théories de jauge, il a été possible de construire une

---

<sup>7</sup> Cf. par exemple Quigg [1983].

véritable *ontogenèse formelle* de la réalité physique. Les contraintes mathématiques sont si fortes (renormalisabilité, élimination des anomalies, mécanisme de Higgs et ruptures spontanées de symétries conférant une masse aux bosons de jauge, etc.), qu'il est souvent possible d'inférer le bon choix du groupe de symétrie de la théorie à partir d'un tout petit nombre de données empiriques significatives.

Gilles Châtelet a étudié en grand détail cette nouvelle étape essentielle du physico-mathématique, où l'intériorité des forces primitives se trouve géométrisée grâce aux concepts de fibré et de connexion.

Cette géométrisation permettant de donner forme à l'unité du physico-mathématique continue présentement et elle offre un sujet d'admiration vraiment inépuisable pour le philosophe des sciences. Il suffit de penser par exemple à la façon étonnante dont la géométrie non-commutative a permis à Alain Connes de construire les champs de Higgs et, plus généralement, de repenser en profondeur notre conception de la géométrisation du quantique.

## CONCLUSION

Il me semble que Gilles a milité pour thématiser la métaphysique "à fleur de peau" des constructions géométriques successives constitutives du physico-mathématique et a essayé de convaincre les milieux scientifiques et philosophiques qu'il fallait faire pour la physique mathématique contemporaine ce que Leibniz avait fait pour la mécanique classique avec sa Dynamique fondée sur le calcul différentiel. Eu égard à l'essence systématique et architectonique de la métaphysique, cette tâche de la pensée de l'objectivité mobilisait, selon lui, *toute* la pensée, avec ses relations à l'esthétique, à l'éthique et au politique.

Gilles Châtelet était au fond un véritable rationaliste pour qui la pensée de l'être physique ne pouvait pas être séparée des autres dimensions de la pensée du sens de l'être. Il était convaincu que la raison authentique – raison théorique, raison pratique, raison politique – est indivise et ne doit pas être démembrée au nom de fausses raisons disciplinaires.

## BIBLIOGRAPHIE

BENNEQUIN, D., 1994. "Questions de physique galoisienne", *Passion des Formes*, à René Thom (M. Porte ed.), 311-410, E.N.S. Editions Fontenay-Saint Cloud.

CAVAILLES, J., 1938. *Méthode axiomatique et Formalisme. Essai sur le problème des fondements des mathématiques*, Paris, Hermann.

CHÂTELET, G., 1985. "Le retour de la monade", *Fundamenta Scientiæ*, 6, 327-345.

CHÂTELET, G., 1993. *Les Enjeux du Mobile*, Paris, Seuil.

CONNES, A., 1990. *Géométrie non-commutative*, Paris, InterEditions.

- DELEUZE, G., 1972. *Différence et Répétition*, Paris, Presses Universitaires de France.
- KANT, I., 1786. *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Kants gesammelte Schriften, Band IV, Preussische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Georg Reimer, 1911. *Premiers Principes métaphysiques de la Science de la Nature*, Trad. J. Gibelin, Paris, Vrin, 1971.
- KANT, I., 1796-1803. *Opus Postumum*, trad. F. Marty, Paris, Presses Universitaires de France, 1986.
- LAUTMAN, A., 1937-1939. *Essai sur l'unité des mathématiques et divers écrits*, (réédition des ouvrages parus chez Hermann de 1937 à 1939 et, à titre posthume, en 1946), Paris, Bourgois, 1977.
- LOCHAK, G., 1994. *La géométrisation de la physique*, Paris, Flammarion.
- MANIN, Y., 1988. *Gauge Field Theory and Complex Geometry*, Springer.
- PETITOT, J., 1987. "Refaire le "Timée". Introduction à la philosophie mathématique d'Albert Lautman", *Revue d'Histoire des Sciences*, XL, 1, 79-115.
- PETITOT, J., 1991. *La Philosophie transcendantale et le problème de l'Objectivité*, Entretiens du Centre Sèvres, (F. Marty ed.), Paris, Editions Osiris.
- PETITOT, J., 1992. "Actuality of Transcendental Aesthetics for Modern Physics", *1830-1930 : A Century of Geometry*, (L. Boi, D. Flament, J.-M. Salanskis eds), Berlin, New-York, Springer.
- PETITOT, J., 1994. "Esthétique transcendantale et physique mathématique", *Neukantianismus. Perspektiven und Probleme* (E.W. Orth, H. Holzhey Hrsg.), 187-213, Königshausen & Neumann, Würzburg.
- QUIGG, C., 1983. *Gauge Theories of the Strong, Weak, and Electromagnetic Interactions*, Reading, Benjamin-Cummings.
- ROBINET, A., 1986. *Architectonique disjonctive, Automates systémiques et Idéalité transcendantale dans l'œuvre de G. W. Leibniz*, Paris, Vrin.