

Démarches non réductrices pour les sciences

Thom, Grothendieck, Gödel et Whitehead, héritiers de Leibniz

N. Daher

Institut FEMTO-ST, Université de Franche Comté, CNRS

Loin d'une étude comparative qui rendrait aussi compte des oppositions issues de leurs tournures d'esprit spécifiques, l'accent va être mis ici sur les points communs des systèmes de pensée de ces acteurs scientifiques. Ce qui est analysé, c'est essentiellement leur effort commun pour dépasser l'étroitesse de la philosophie mécaniste qui explore sans expliquer, et leur recherche d'une vision plus apte à allier explication et exploration.

Leurs idées se démarquent des conceptions habituelles de la science et de son épistémologie et particulièrement de la conception usuelle de la physique fournie par la modélisation physico-mathématique. Elles corroborent ce qui sous-tend notre travail sur la dynamique, où nous bannissons comme fondatrice la démarche de modélisation, conçue, à tort, comme étant l'horizon de la pensée scientifique, affectant de s'intéresser au comment et non au pourquoi, et prétendant établir ainsi une ligne de démarcation définitive entre science et non-science (*ce que Kant a traduit par la rupture entre physique et métaphysique*).

Nous avons refusé cette rupture pour dépasser une formalisation quantitative associée à une logique exclusive – la modélisation donnée a priori – source d'irrationalité et loin d'une pensée authentique. Nous avons mis sur pied une théorisation en commençant par une formalisation qualitative qui, grâce à une logique inclusive, va être capable, par auto-organisation, de se quantifier.

La quantification émerge alors de la théorie de façon relationnelle et interdépendante au lieu d'être postulée a priori dans une approche individuelle et indépendante. Cette théorisation, au-delà de son efficacité, atteint, ce qui nous semble majeur, l'intelligibilité, *l'irrationalité, le pari du choix du point de vue exploité étant manifestement le talon d'Achille de toutes les démarches de modélisation*. Ce passage des modèles à une théorie, à une vision intrinsèque et vaste (*incluant une infinité potentielle de points de vue*) dépasse ainsi les visions extrinsèques et étroites (*un seul point de vue pris en compte*). Elle permet en particulier d'annihiler la critique de Heidegger, provocatrice mais néanmoins pertinente et justifiée : « La science ne pense pas ».

La théorisation que nous avons établie en reprenant la dynamique à partir de ses fondements a profité de l'apport majeur des analyses de ces philosophes : l'affirmation de Heidegger sur la science n'est pas vraie dans l'absolu mais seulement relativement à la façon dont elle s'est développée au travers de la modélisation.

Nous allons mettre en relief, chez ces scientifiques du 20^{ème} siècle, des idées initialement énoncées et argumentées par Leibniz au 17^{ème} siècle. Ces idées leibniziennes avaient initialement et durablement été occultées et rejetées comme contraires au développement de la physique telle qu'il est apparu pour n'être ravivées que tardivement, de façon implicite chez Thom et Grothendieck, et explicite chez Gödel et Whitehead. Il s'agit de critiquer la philosophie mécaniste dans ses versions empiriques et rationnelles, qui se traduit formellement par la modélisation, qu'il convient de dépasser par une théorisation permettant d'englober et d'expliquer les différentes modélisations, y compris les plus rationnelles. En mécanique, ces modélisations correspondent à

la formulation variationnelle – développée au 18^{ème} siècle, puis affinée et élargie ultérieurement, à

la méthode géométrique – inspirée par la révolution relativiste qui met en cause le caractère absolu du cadre spatio-temporel newtonien, et à

l'approche par la théorie des groupes – développée à la suite de la révolution quantique et mettant en cause, cette fois-ci, le cadre spatio-temporel même, en tant que fondement de la réalité physique.

Contre la pensée de la majorité des physiciens, René Thom, Alexandre Grothendieck, Kurt Gödel et Alfred North Whitehead ont développé un cadre épistémologique affirmant la nécessité de dépasser la philosophie mécaniste – et la démarche de modélisation qui lui est inhérente – avec une nouvelle conception de la science, au sein de leurs démarches scientifiques différentes (voire contradictoires à certains égards).

Le dépassement du mécanisme est une idée chère à Leibniz qui a œuvré en vain pour convaincre ses contemporains des dégâts que pouvait (*et devait*) occasionner, à long terme, la vision mécaniste de Descartes (*l'homme est maître et possesseur de la nature*) et celle de Newton, avec sa démarche empirico-formelle. Ces visions ont conduit à la rationalité mathématique (*mécanique rationnelle*) de Lagrange et conceptuelle (*apriorisme transcendantal*) de Kant. Ces rationalités ont placé la modélisation sur un piédestal, affirmant qu'au-delà d'une telle méthode, fondée a priori au travers d'une mathématisation quantitative, il n'y avait pas et ne pouvait y avoir de science positive : la modélisation qui s'occupe principalement du « comment », laissant de côté le « pourquoi », marquait ainsi la ligne de démarcation entre science et non-science.

On va analyser les critiques de ces présupposés généraux, faisant des modèles l'horizon indépassable de la pensée scientifique. Nous les mettrons en cause en adoptant une conceptualisation moins étroite, en mesure d'allier le « comment » et le « pourquoi », l'exploration et l'explication, l'efficacité et l'intelligibilité.

Cela correspond, nous allons le voir, à la mobilisation du « principe de raison suffisante » de Leibniz, qu'il appelle aussi « principe de raison déterminante » et parfois « le grand principe du pourquoi ».

René Thom

Pour le mathématicien R. Thom – même s'il ne s'y est intéressé qu'en rapport avec sa démarche en mathématiques – la philosophie doit guider la réflexion :

« Les problèmes philosophiques, étant les plus importants, sont aussi les plus difficiles ; dans ce domaine faire preuve d'originalité est très difficile, *a fortiori* découvrir une nouvelle vérité. C'est pourquoi la société, fort sagement, a renoncé à subventionner les recherches sur des sujets philosophiques, où le rendement est trop aléatoire, pour consacrer son effort à la recherche scientifique, où, Dieu merci, il n'est pas besoin d'être un génie pour faire « œuvre utile ». »

René Thom se veut « gardien de l'intelligible ». Il faut, selon ses propres termes, lutter continuellement contre les dérapages pragmatistes qui tendent à gauchir nos prégnances et à créer des significations abusives ou factices, se mettre à contre-courant des flux locaux d'intérêts qui agitent la communauté des savants. Tout paradigme vit toujours au-dessus de ses moyens, et « avoir raison trop tôt, c'est bien souvent avoir tort dans l'immédiat : il faudra accepter les conséquences d'un tel choix » écrit-il.

Le problème de la philosophie est l'impossibilité de proposer des preuves ou des démonstrations pour étayer ses dires. Dans le rapport entre le formel et le conceptuel vont néanmoins se manifester les apports de Thom, de Grothendieck, de Gödel et de Whitehead. Habituellement, la peur d'être confronté à l'imprécision du langage quotidien conduit les scientifiques à se méfier de tout ce qui n'est pas quantitatif, strictement délimité et précis :

« Les formalisateurs, écrit Thom, sont des gens qui vous disent tout le temps : « Oh ! le langage naturel est horrible, il tolère toute espèce d'ambiguïté, c'est impossible de faire des mathématiques avec ça. Moi, je n'ai jamais fait que du langage naturel en mathématiques, plus quelques symboles de temps en temps » ou encore :

« Pourquoi ne pas accepter les entités que nous suggère le langage ? Quitte à contrôler les hypostases abusives, c'est là la seule manière d'apporter au monde une certaine intelligibilité. Seule une métaphysique réaliste peut redonner du sens au monde ».

Dans « Modèles mathématiques et morphogenèse », Thom écrit aussi :

« Pourquoi au début de la pensée philosophique, les présocratiques, d'Héraclite à Platon, nous ont-ils laissé tant de vues d'une si grandiose profondeur ? Il est tentant de penser qu'à cette époque l'esprit était en contact quasi-direct avec la réalité, les structures verbales et grammaticales ne s'étaient pas imposées comme un écran déformant entre la pensée et le monde. Avec l'arrivée des sophistes, de la géométrie euclidienne, de la logique aristotélicienne, la pensée intuitive fait place à la pensée instrumentale, la vision directe à la technique de la preuve. Or, *le moteur de toute implication logique est la perte en contenu informationnel*. Il était donc fatal que le problème de la signification s'effaçât devant la structure de la déduction. Le fait que les systèmes formels des mathématiques échappent à cette dégradation de la « négentropie » a fait illusion à cet égard, une illusion dont la pensée moderne souffre encore : la formalisation – en elle-même, disjointe d'un contenu intelligible – ne peut être une source de connaissance ».

Ces deux affirmations montrent clairement l'antipathie de Thom pour le formalisme pur, qui affecte de se passer de toute pensée signifiante. Gödel est d'ailleurs en accord avec Thom sur

le caractère limité et incomplet de la formalisation et affirme : « Avec chaque formalisation, il y a des problèmes que l'on peut comprendre et exprimer dans le langage ordinaire mais que l'on ne peut pas exprimer dans ce langage formel. Il s'ensuit [...] que les mathématiques sont inexhaustibles : il faut toujours à nouveau revenir à la « fontaine de l'intuition ». Nous verrons plus loin comment cette réserve est aussi partagée par Grothendieck et Whitehead.

Critiquant le caractère arbitraire – donc inintelligible – de la modélisation, Thom écrit :

« Jusqu'à présent, la construction de modèles en Science a été avant tout une question de chance, de « lucky guess » », avant d'ajouter :

« Mais le moment viendra où la construction des modèles elle-même deviendra, sinon une science, du moins un art ; ma tentative [...] est un premier pas dans l'édification de cette « **Théorie générale des modèles** » qu'il faudra bien construire un jour ».

Sa critique de l'insuffisance du mécanisme, y compris dans sa version rationnelle exprimée par une modélisation analytique, initiée par Descartes, est clairement formulée :

« La philosophie dominant actuellement [...] fait de l'analyse d'un système en ses ultimes constituants la démarche première à accomplir pour en révéler la nature. Il faut rejeter comme illusoire cette conception primitive et quasi cannibalistique de la connaissance, qui veut que connaître une chose exige préalablement qu'on la réduise en pièces, comme l'enfant qui démolit une montre et en éparpille les rouages pour en comprendre le mécanisme. [...] Notre méthode [...] peut être caractérisée comme une sorte de *vitalisme géométrique* ».

Ne rejetant pas le mécanisme au profit de ce seul vitalisme, il entrevoit une synthèse conduisant à un profond remaniement de nos conceptions physiques :

« La synthèse entrevue des pensées « vitaliste » et « mécaniste » en Biologie n'ira pas sans un profond remaniement de nos conceptions du monde inanimé ».

La vision mécaniste réductrice reflétée par la modélisation devra être dépassée par une théorisation plus exigeante :

« Il est nécessaire de disposer d'une théorie qui rétablisse le lien jusqu'ici manquant entre dynamique globale et morphologie locale ».

Dans son désir de comprendre et d'expliquer, il s'oppose aux données « a priori » sources d'irrationalité qui relèvent du réductionnisme en proposant une structuration appauvrie du réel :

« [...] pour moi, la structure n'est pas donnée « a priori », elle ne sort pas d'un empyrée platonicien. Elle est directement issue du conflit entre deux (ou plusieurs) forces qui l'engendrent et la maintiennent par leur conflit même. [...] en expliquant la morphologie par un dynamisme sous-jacent, on peut rompre l'antinomie des tendances réductionniste et structurale [...] Ainsi s'entrevoit la possibilité de créer un structuralisme dynamique, qui [...] se présenterait comme une théorie générale des formes indépendante de la nature spécifique de l'espace substrat ».

Tout en créditant la science d'une progression (*un progrès*) qui conduit à divers modes d'intelligibilité, il trouve cela très insuffisant :

« [...] la science progresse en se forgeant de nouveaux modes d'intelligibilité, écrit-il, mais en dernière analyse, ces nouveaux modes d'intelligibilité doivent pouvoir s'engendrer à partir d'évidences intuitives ».

« Depuis la rupture galiléenne, le savant a toujours essayé d'exploiter les automatismes, la « **stupidité** » de la nature : la physique est toute entière fondée sur ce manque d'imagination des forces naturelles ».

« Le dédain pour la théorie qui se manifeste dans les milieux d'expérimentateurs a sa source dans l'attitude analytique-réductionniste ; or pour découvrir la bonne stratégie, il faut s'identifier à l'un des facteurs permanents du système. Il faut en quelque sorte « **entrer dans sa peau** ». Il s'agit là presque d'une identification amoureuse. Or comment pourrait-on aimer ce qu'on a, préalablement, cassé de manière irréversible ? Toute la science moderne est ainsi fondée sur le **postulat de l'imbécillité des choses** ».

Thom ne se contente pas de fournir des arguments conceptuels en laissant intactes les méthodes mathématiques et logiques de son époque. Il va s'opposer à la manière dont les mathématiques et la logique opèrent pour rendre compte des phénomènes naturels, considérant qu'il s'agit là d'une simplification abusive et même catastrophique pour une saisie profonde de la nature des choses sensibles :

« Avant Frege, il y a eu Boole et c'est le commencement de la catastrophe. Nous pensons, en réalité, toujours selon la compréhension des concepts et pratiquement jamais selon leur **extension**... Je crois qu'on peut le déplorer car c'est une simplification trop grande du réel ». Ou encore :

« C'est la malédiction foncière des mathématiques (comme peut-être de toute science) qu'elle ne peut se construire qu'en tuant ses objets. Seul un retour périodique aux sources, la sauve de l'inéluctable suicide. C'est en cherchant à conférer un sens aux choses que la mathématique découvre son propre sens ; c'est l'intelligible du réel qui sans cesse recrée l'intelligible mathématique. *Le réel précède le formel.* »

Pour bien préciser ce qu'il entend par l'**extension** ou le caractère étendu d'un concept, se réclamant d'Aristote, il écrit :

« La possibilité pour un sujet d'accepter comme prédicats simultanément deux contraires impose en fait son caractère étendu. Là se trouve, en dernière analyse, la réponse d'Aristote à Parménide. Une proposition comme « *X est – simultanément – à la fois **A et non A*** » n'est pas contradictoire, elle impose simplement le caractère *étendu* de *X*. C'est seulement en dépassant la modélisation, comme on l'a fait en dynamique (cœur de la physique), au profit d'une théorisation, portant en elle sa propre intelligibilité, qu'on dépasse, ce que Kuhn appelle « **l'époque du puzzle-solving** », l'époque où les gens s'amuse à résoudre des devinettes. » Or,

« l'immense majorité de la production scientifique actuelle, écrit Thom, n'est pas autre chose, en effet, que la résolution de devinettes. Ces devinettes étant en général d'un intérêt extraordinairement faible ».

Thom s'oppose farouchement à toute science qui ne s'occupe que du « comment » aux dépens du « pourquoi », se contentant de produire des recettes qui marchent sans d'autres questionnements. Il écrit de façon provocatrice :

« Si l'on réduit la science à n'être qu'un ensemble de recettes qui marchent, on n'est pas intellectuellement dans une situation supérieure à celle du rat qui sait que lorsqu'il appuie sur un levier, la nourriture va tomber dans son écuelle. La théorie pragmatiste de la science nous ramène à la situation du rat dans sa cage ».

Il insiste sur le fait que le but ultime de la science n'est pas d'amasser indifféremment des données empiriques auxquelles sont associés des modèles simplistes et éparpillés, mais de les organiser au sein d'une structure formelle qui les subsume et les explique. Cependant, il n'a jamais prétendu avoir entièrement concrétisé la formulation mathématique de sa démarche conceptuelle. Au contraire, sa théorie des catastrophes, qu'il reconnaît ne pas être suffisante, n'est, selon lui, qu'un pas vers une « théorie générale des modèles ».

Mais, si Thom voulait le « pourquoi » qui compléterait le « comment » de la modélisation, adhérant ainsi au « principe de raison suffisante » de Leibniz, ce « grand principe du pourquoi », il n'est pas parvenu à allier harmonieusement le qualitatif et le quantitatif pour produire un cadre qui serait à la fois explicatif et prédictif (*correspondant à notre théorisation en dynamique, ou même aux apports de Grothendick en mathématiques*). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle il reconnaît les limites de sa théorie (*des catastrophes*) qui reste en deçà de la conceptualisation qu'il a toujours défendue et qu'il souhaiterait voir formalisée par ses successeurs.

Il aurait voulu créer une théorie de la signification, dont la nature soit telle que l'acte même de connaître soit une conséquence de la théorie. Son souhait ne procède pas seulement d'un intérêt légitime mais aussi de quelque chose qui relève de l'**éthique** (Voir annexe B). C'est ainsi qu'il écrit : « Discuter du statut ontologique des théories physiques, de la nature de l'espace, du temps, de la matière et du rayonnement apparaît comme une tâche qui, plus qu'un intérêt de curiosité philosophique hautement légitime, présente un aspect **éthique** dont les scientifiques ont rarement conscience ».

Il convient de distinguer entre la théorie des catastrophes de Thom et son épistémologie dont s'inspire notre travail. Cette épistémologie dépasse les capacités offertes par ce que Thom a pu réaliser formellement. Ce fait a déconcerté certains de ses collègues scientifiques, irrités par la propagande qui s'est faite autour de sa conception de la nature, rappelant celle de Leibniz, considérée comme irréalisable, conception métaphysique manquant de preuves et démonstrations. Il faut reconnaître que E. Christopher Zeeman qui a défendu cette approche n'avait pas lésiné sur la propagande, poussant les *mass media* à proclamer : « Le nouveau Newton est français »!

Cependant, comme le note si bien l'un des commentateurs de l'œuvre de René Thom : « Quand Zeeman fait l'éloge des catastrophes, il y va certes un peu fort, mais cette exagération n'a rien de malhonnête : c'est un comportement de bon aloi là où il vit. Pas plus que Thom, il ne recherche la vulgaire réussite matérielle : c'est au royaume des idées que tous deux veulent laisser une trace et la tradition universitaire européenne est encore, en cette époque bénie, à l'abri du pouvoir dévastateur de l'argent. Malheureusement, tel n'est pas le cas ailleurs, où l'allocation de confortables crédits de recherche impose une rentabilité à assez court terme. La critique suivante de Smale : « en cinq ou six ans, on n'a pas le temps de faire entrer dans les mœurs une « théorie générale des modèles » qui n'a été qu'esquissée et tranche nettement avec les habitudes », s'inscrit dans ce système de pensée à court terme.

Thom, qui admirait Smale, attendait de lui un jugement sur le fond et non sur la forme, sur les aspects théoriques et non pragmatiques. Il fut affecté par ses critiques et sa non adhésion à

sa vision fondatrice d'un nouvel ordre scientifique. D'autres critiques furent bien plus sévères comme celle d'Arnold. En effet, dans « La mathématisation du réel », Giorgio Israël écrit : « La divergence entre l'approche de Thom et l'approche classique est bien représentée par la différence entre sa conception de la théorie des catastrophes et l'interprétation qu'en fait un physico-mathématicien traditionnel tel qu'Arnold. Dans son livre consacré à la théorie des catastrophes, Arnold déclare qu'il n'accorde de valeur à aucune démarche scientifique en dehors de la modélisation traditionnelle. La vision de Thom n'est, selon lui, qu'une fumisterie métaphysique : « Ni en 1965 ni plus tard, je ne compris un seul mot des discours de Thom sur les catastrophes. Une fois il me les expliqua (en français !) ce qui faisait « bla,bla,bla »[...]. Je me sens encore moins capable de discuter les thèses de Thom qui sont plus philosophiques ou poétiques, et qui sont formulées d'une manière tel qu'il est impossible de décider si elles sont vraies ou fausses (comme dans la science médiévale avant Descartes ou Bacon [ou les Bacons]). Heureusement, les découvertes mathématiques fondamentales du grand topologue ne sont infirmées par aucune philosophie irrationnelle. »

G. Israël ajoute : « On ne saura trouver un exemple plus clair de point de vue objectiviste et de refus de toute dérive de l'approche qualitative vers la philosophie naturelle. Remarquons que l'idée d'Arnold selon laquelle le monde préscientifique était tout simplement le monde de l'irrationalité et du mysticisme, tandis que « après » on a finalement assisté au triomphe de la raison scientifique permettant de décider ce qui est vrai et ce qui est faux, est d'une naïveté étonnante. En général, les « profanes » (philosophes, historiens, poètes, etc.) n'osent pas se prononcer sur des questions scientifiques particulières, tandis que les « grands prêtres » de la science (mathématiciens, physiciens, biologistes, etc.) pensent être autorisés à s'exprimer sans contraintes sur toute question philosophique, historique, etc. Ils pensent évidemment que tout ce qui n'est pas scientifique peut être réglé dans une conversation de café. »

Thom, comme Leibniz avant lui, propose une démarche intelligible et exigeante, ne se contentant pas de simples recettes qui marchent. Mais au lieu d'être poursuivie et complétée, cette démarche, non encore aboutie et formellement prouvée, a reçu le même sort que celle de son prédécesseur : le rejet et le dénigrement. De l'aveu même de Thom, la théorie des catastrophes n'a pas su élaborer de prévisions suffisamment quantitatives. Il n'en reste pas moins qu'elle a permis de faire émerger de nouvelles idées qui ont influencé les physiciens dans l'élaboration de la théorie du chaos et qui m'ont influencé dans ma démarche fondée sur certaines idées qui remontent à Leibniz et même à Aristote ; philosophes ayant largement influencé Thom lui-même. Plus précisément, alors qu'il y a une infinité de manières pour un système de changer continûment, il s'avère qu'il y a seulement sept manières structurellement stables pour un tel système de changer de façon discontinue. Cette affirmation qui ne relève pas de la simple spéculation mais d'une démonstration mathématique m'a particulièrement interpellé en m'encourageant à formaliser le perspectivisme infini de Leibniz qui, à sa manière, ne fait émerger qu'un nombre restreint de perspectives de base, singulières et opérationnelles. Cette procédure formelle est d'autant plus intéressante conceptuellement qu'elle fournit un fondement scientifique à l'affirmation de Leibniz : « Beaucoup d'appelés, peu d'élus », certes, empruntée à la théologie mais passant de la sphère spéculative à celle démonstrative que Leibniz chérissait sans pouvoir aller jusqu'au bout de son idée, à une époque où le calcul différentiel était encore dans l'enfance, en cours d'élaboration.

Le manque de discernement global du réductionnisme scientifique dû à des fragments d'intelligences qui ne se tiennent pas ensemble, empêchant le sens de se manifester dans toute sa

vérité a conduit à des contradictions et difficultés insurmontables par la seule démarche scientifique usuelle que Thom décrit comme suit : « le fleuve du sens traverse la forteresse de la tautologie, par les égouts. On ne le voit plus... mais, à la surface, cela sent mauvais parfois », ou encore : « Je verrais volontiers dans le mathématicien un perpétuel nouveau-né qui babille devant la nature ; seuls ceux qui savent écouter la réponse de Mère Nature arriveront plus tard à ouvrir le dialogue avec elle, et à maîtriser une nouvelle langue. Les autres ne feront que babiller, bourdonner dans le vide – bombinans in vacuo ».

Thom est convaincu que le réductionnisme scientifique est condamnable et dangereux. Il conduit à un abêtissement généralisé, à un manque criant d'intelligibilité et à des cercles vicieux dont on ne voit pas l'issue tant qu'on s'obstine à raisonner dans le strict cadre de la modélisation qui constitue l'horizon de la pensée scientifique usuelle. A cet égard, on peut évoquer divers commentateurs. C'est ainsi que dans les actes du colloque consacré à l'œuvre de René Thom : « Logos et théorie des catastrophes », Giorello écrit : « A propos du problème de l'intelligibilité, il est bien connu que Thom, au début de son ouvrage *Stabilité structurelle et morphogenèse*, en comparant la physique de Descartes et celle de Newton, indique très clairement le conflit entre la « prospérité du vice » (Newton : apparemment peu d'intelligibilité, mais de bonnes techniques de calcul et un pouvoir prédictif très fort) et les « malheurs de la vertu » (Descartes : une plus grande intelligibilité, mais aucun pouvoir prédictif) qui traverse l'histoire des sciences ». Dans le même ouvrage, H. Barreau écrit : « Si l'on passe à l'étude de l'homme et des sociétés humaines, les approches réductionnistes risquent d'être plus dangereuses encore, et potentiellement criminelles... le but de la science n'est pas seulement d'agir, comme le répète Thom, mais de comprendre ». C'est effectivement cette compréhension qui distingue la science de la magie.

Avant de clore cette partie relative à l'œuvre de Thom, il convient d'insister sur le fait que ce mathématicien-philosophe était très sensible et très gêné par la malhonnêteté intellectuelle et la mauvaise foi qu'il décelait chez plusieurs de ses interlocuteurs, d'où son affirmation : « s'il est arrivé que j'ai pris des positions parfois controversées (et même parfois un peu provocantes), c'est moins par envie de participer à l'action que parce que ma sensibilité a toujours été vive à la malhonnêteté intellectuelle. Et il me semble que les exemples ne manquent pas. Il m'est alors difficile de ne pas réagir. » On trouve la même sensibilité chez Grothendieck qui, dans une lettre sur la dérive de la « science officielle » – adressée au secrétaire perpétuel de l'Académie royale des sciences de Suède, expliquant le refus du prix qu'on lui avait attribué – a écrit : «... dans les deux décennies écoulées, l'éthique du métier scientifique (tout au moins parmi des mathématiciens) s'est dégradée à un degré tel que le pillage pur et simple entre confrères (et surtout aux dépens de ceux qui ne sont pas en position de pouvoir se défendre) est devenu quasiment une règle générale, et qu'il est en tout cas toléré par tous, y compris dans les cas les plus flagrants et les plus iniques. Dans ces conditions, accepter d'entrer dans le jeu des prix et des récompenses serait aussi donner ma caution à un esprit et à une évolution, dans le monde scientifique, que je reconnais comme profondément malsains, et d'ailleurs condamnés à disparaître à brève échéance tant ils sont suicidaires spirituellement, et même intellectuellement et matériellement ».

Alexandre Grothendieck

Nous allons voir que, même si Grothendieck était loin des préoccupations liées à l'étude de la nature sensible (*physique, biologique*)... il a, en mathématiques, montré la possibilité formelle de construire une « **théorie générale** » englobant et expliquant les approches antérieures (*il s'agit des théories cohomologiques, dont une présentation succincte est proposée dans l'annexe A*).

Si la démarche de Thom était difficilement accessible non seulement aux physiciens mais aussi aux mathématiciens, celle de Grothendieck l'est plus encore. Mais, avec les explications fournies par les auteurs eux-mêmes et par leurs commentateurs, il est possible de comprendre les concepts de base qu'ils ont mis en place pour améliorer et enrichir le langage de la physique-mathématique, qui se limite à de simples modélisations réductrices, fondées chacune sur une logique exclusive restreinte à un unique point de vue.

Luc Illusie, un des thésards de Grothendieck à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES), analyse :

« Il (*Grothendieck*) avait une vision d'harmonie globale des mathématiques et l'intuition lui montrait le chemin le plus simple. Son but était de trouver "**le ferment universel**", l'unité profonde des mathématiques, en s'élevant de degré en degré. Une de ses dernières créations s'intitule "**les motifs**". Il s'agit d'une méta-théorie (*englobant tout*). Comment ne pas sentir derrière les "motifs" l'idée de Dieu ? »

Comme ses considérations métathéoriques débordaient du cadre strictement scientifique de l'époque, elles ont été jugées farfelues, relevant d'un mysticisme n'ayant pas sa place en science, au lieu d'être reconnues à leur juste valeur. Il a d'ailleurs payé cher le fait de revendiquer l'unité de la pensée, de refuser d'adopter le critère usuel de scientificité et sa ligne de démarcation entre science et métaphysique et de s'opposer, en particulier, aux **raccourcis, aux concessions et à l'économie** adoptés en mathématiques, en physique et dans d'autres domaines scientifiques. C'est ce que décrit, Michel Demazure, autre thésard de Grothendieck :

« Pour lui tout était lié dans les mathématiques, le chemin était donc aussi important que le but. La démonstration d'un théorème n'était qu'un sous-produit de la démarche suivie qui devait, elle, répondre à une vision globale et harmonieuse. Sa devise était : "**Pas de concession, pas d'économie, pas de faux semblants, pas de raccourcis**" ! ».

« Comme dans les autres sciences, écrit-il encore, les avancées en mathématiques suivent des phases alternatives. Il y a d'abord une phase d'accumulation d'éléments ponctuels disparates (théorèmes, conjectures, etc.) qui peuvent paraître parfois contradictoires. Puis arrive le moment de la synthèse où il ne sert plus à rien de cumuler des nouveaux "faits". C'est là qu'interviennent de grands esprits comme Grothendieck, ils vont construire des systèmes englobant, reliant et expliquant tous ces événements isolés ».

Le mathématicien distingue habituellement entre le continu, le discontinu et le discret, entre la géométrie, l'algèbre et la théorie des nombres... alors que Grothendieck cherche à établir des ponts entre ces cadres. Dans : « Le génie inconnu des mathématiques », Philippe Douroux écrit :

« Pour rapprocher les deux mondes (géométrique et algébrique), il faut définir un langage commun, forger des outils capables d'établir les règles du grand architecte de l'univers. « Tout se passe comme s'il y avait un objet mystérieux, **une raison unique**, centrale qui permette d'expliquer toutes les autres », explique Claire Voisin. L'aboutissement s'appelle la « **théorie des motifs** », et demandera sans doute des décennies, ou un autre Grothendieck pour aboutir ».

Pour préciser ce à quoi renvoient ses motifs, Grothendieck écrit :

« Ma reformulation a consisté, pour l'essentiel, à dégager une sorte de "quintessence" de ce qui devait rester valable, dans le cadre des variétés algébriques dites "abstraites"... Dans mon esprit, c'était là un nouveau pas... un des principes d'approche possibles vers ce qui m'apparaît encore comme le thème le plus profond que j'aie introduit en mathématiques, celui des motifs... Ce thème est comme le cœur ou l'âme, la partie la plus cachée, la mieux dérobée au regard, du thème schématique, qui lui-même est au cœur de la vision nouvelle. Et les quelques phénomènes clefs dégagés dans les conjectures standard peuvent être vus comme formant une sorte de quintessence ultime du thème motivique, comme le "**souffle**" vital de ce thème subtil entre tous, de ce "**cœur dans le cœur**" de la géométrie nouvelle ».

L'accès au « **cœur du cœur** » d'une réalité ne semblait pas être une question à laquelle la science pouvait s'intéresser : la science s'occuperait du « comment » et non du « pourquoi ». Certaines questions relatives au « pourquoi » initialement posées par Leibniz, ont été exclues du cadre scientifique depuis l'apriorisme transcendantal de Kant. Or, avec la démarche de Grothendieck, le « **pourquoi** » ne semble plus être scientifiquement inaccessible.

Les physiciens-mathématiciens reconnaissent bien – par exemple – que la dynamique (*terme inventé par Leibniz*) constitue, de par son lien direct aux principes de relativité et de conservation, sans lesquels la science physique n'aurait pas pu se développer, le « cœur » de la physique. En revanche, ils ont refusé jusque-là – *à tort comme cela a été démontré récemment grâce à la construction d'une théorie qui englobe et explique les différents modèles* – de croire en l'existence de quelque chose qui correspondrait au « cœur » de la dynamique et donc au « cœur du cœur » de la physique.

Depuis Kant, plus personne ne suit Leibniz, en s'aventurant à la recherche du « cœur du cœur » de la dynamique, que Leibniz associe au « Vinculum », à la « Monade des monades » ou encore à « l'œil de Dieu ». Plusieurs siècles avant Grothendieck, Leibniz évoque, dans sa vision vitaliste plutôt que mécaniste, l'existence d'une « **raison commune** » (ou « raison unique ») susceptible de générer et d'ordonner les multiples points de vue, et cette raison est illustrée par la « raison mathématique », celle qu'on rencontre dans l'étude des suites et des relations de récurrence.

Rien de tel n'existe en physique-mathématique. On accepte comme constitutives de l'horizon de la pensée scientifique, des modélisations (diverses) attachées chacune à une structure mathématique bien identifiée, en instituant, sans preuve, des modélisations correspondant à des points de vue (*spatio-temporels et non spatio-temporels en dynamique*) choisis *a priori*.

La « **raison commune** » ou le « souffle vital » dont parle Grothendieck, en mesure d'atteindre le « cœur du cœur » de la géométrie nouvelle, ouvre de nouvelles possibilités en physique puisque les approches les plus fondamentales de la physique-mathématique sont

fondées sur les mathématiques usuelles, jusqu'ici indépassables et reflétant l'horizon de la pensée scientifique.

L'analyse pertinente de Pierre Cartier précise ce point essentiel, dans son article : « Un pays dont on ne connaîtrait que le nom (Grothendieck et les « motifs ») ». Il écrit :

« L'image que Grothendieck donne lui-même, c'est celle d'une côte rocheuse, de nuit, éclairée par un phare. Le phare est tournant, et il éclaire alternativement une portion de la côte ou une autre. De manière analogue, les diverses théories cohomologiques connues, dont les multiples qu'il a lui-même inventées, sont ce qu'on voit et il nous faut remonter à la source, construire le phare qui unifiera la représentation du paysage. D'une certaine manière, la stratégie scientifique est inverse de celle qui était à l'œuvre dans les schémas. ». Un peu plus loin, il ajoute :

« Ce qui frappe d'abord chez Grothendieck, c'est l'expression de la souffrance : souffrance d'avoir laissé une œuvre inachevée, sentiment d'avoir été trahi par ses collaborateurs et successeurs. Dans un moment de lucidité, il a dit à peu près ceci : "J'étais le seul à avoir le souffle, et ce que j'ai transmis autour de moi, ce n'était pas le souffle mais la tâche. J'ai eu des tâcherons autour de moi, mais aucun d'entre eux n'a vraiment eu le souffle !" », puis il conclut : « Commentaire vrai et profond... ».

On peut se rapporter à cet article pour saisir les divers concepts utilisés par Grothendieck (motifs, topos, faisceaux, schémas...), qu'il a lui-même initiés.

Dans un autre article intitulé : « Notes sur l'histoire et la philosophie des mathématiques » Pierre Cartier évoque le même problème de façon non métaphorique et plus directe en écrivant :

« Pour l'esprit généralisateur de Grothendieck, on avait affaire à trois théories d'homologie de faisceaux : c'était trop, il en fallait une seule qui couvre tous les cas. Donc, Grothendieck se donne comme but de refaire la théorie de la cohomologie des faisceaux dans le cadre le plus général ».

En physique, il s'avère qu'on a aussi trois principes rationnels distincts associés à trois structures formelles bien identifiées (la formulation variationnelle, la méthode géométrique et l'approche par la théorie des groupes), reflétant chacune un point de vue différent sur la réalité physique. En s'inspirant de Leibniz et des leibniziens modernes dont Grothendieck, j'ai pu construire une théorie générale et intrinsèque (hors point de vue) qui, par auto-organisation, conduit à une multiplicité de points de vue avec leurs structures formelles dont les trois mentionnées ci-dessus. Là encore, comme pour l'image du phare, les diverses structures formelles connues sont ce qu'on voit et il a fallu remonter à la source, construire le phare qui unifie la représentation du paysage. La méthodologie utilisée diffère radicalement de celle utilisée pour la construction des structures formelles (variationnelle, géométrique...) dans la mesure où aucun coup de force n'est imposé au travers de contraintes postulées a priori : la théorie s'auto-organise révélant ainsi les multiples points de vue qui lui sont appropriés.

Pour bien distinguer sa démarche de celle usuellement utilisée, Grothendieck s'exprime métaphoriquement en effectuant une comparaison entre deux manières différentes de procéder. Il écrit, dans « Récoltes et Semailles » (troisième partie) :

« L'une est celle du marteau et du burin, quand le problème posé est vu comme une grosse noix, dure et lisse, dont il s'agit d'atteindre l'intérieur, la chair nourricière protégée par la coque. Le principe est simple : on pose le tranchant du burin contre la coque, et on tape fort. Au besoin, on recommence en plusieurs endroits différents, jusqu'à ce que la coque se casse – et on est content. [...] Je pourrais illustrer la deuxième approche, en gardant l'image de la noix qu'il s'agit d'ouvrir. La première parabole qui m'est venue à l'esprit tantôt, c'est qu'on plonge la noix dans un liquide émoullent, de l'eau simplement pourquoi pas, de temps en temps on frotte pour qu'elle pénètre mieux, pour le reste on laisse faire le temps. La coque s'assouplit au fil des semaines et des mois – quand le temps est mûr, une pression de la main suffit, la coque s'ouvre comme celle d'un avocat mûr à point ! Ou encore, on laisse mûrir la noix sous le soleil et sous la pluie et peut-être aussi sous les gelées de l'hiver. Quand le temps est mûr c'est une pousse délicate sortie de la substantifique chair qui aura percé la coque, comme en se jouant – ou pour mieux dire, la coque se sera ouverte d'elle-même, pour lui laisser passage. [...] »

C'est bien sûr cette approche que Grothendieck adopte pour résoudre ses problèmes.

Dans un propos recueilli par Eric Dumas, dans le Journal des mathématiques, vol.1, (1994), Jean Giraud affirme, en parlant de Grothendieck :

« Son originalité était son intuition et sa capacité à généraliser, à se fier à l'idée « naturelle ». Sous des apparences de généralité excessive, il forgeait ainsi des outils d'une efficacité et d'une souplesse extraordinaire ». Puis il ajoute :

« Je me souviens du jour où Oscar Zariski m'expliqua son admiration pour la manière dont Grothendieck a redémontré son fameux « théorème fondamental des fonctions holomorphes ». Alors que la démonstration de Zariski est un chef-d'œuvre d'astuce et de d'imagination, celle de Grothendieck consiste à généraliser l'énoncé aux groupes de cohomologies supérieures et à procéder par une récurrence descendante sur le degré. Le plan en est simple et aisé à comprendre, moyennant un investissement conceptuel non négligeable mais utilisable dans bien d'autres cas ».

Au lieu d'accumuler les coups de force et les astuces pour contourner les difficultés qui se présentent, Grothendieck va directement au but au prix d'une **conceptualisation nouvelle** située souvent à l'opposé des habitudes acquises, bousculant ainsi les croyances qui semblaient être jusque-là des nécessités sur lesquelles la communauté scientifique pouvait se reposer. Selon lui, la manière de construire ses mathématiques ne relève pas d'une tâche scientifique volontaire ou d'un « moi » ambitieux et vaniteux qui décide de façon autoritaire ou/et dogmatique mais d'un souffle, **de quelque chose d'involontaire** qui s'impose inconsciemment telle la respiration. Il écrit :

« Au moment du travail, quand peu à peu une compréhension s'amorce, prend forme, s'approfondit, quand dans une confusion, peu à peu on voit apparaître un ordre, ou quand ce qui semblait familier soudain prend des aspects insolites, puis troublants, jusqu'à ce qu'une contradiction enfin éclate et bouleverse une vision des choses qui paraissait immuable – dans un tel travail, il n'y a pas trace d'ambition ou de vanité. Ce qui mène alors la danse est quelque chose qui vient de beaucoup plus loin que le « moi » et sa fringale de s'agrandir sans cesse (fût-ce de « savoir » ou de « connaissance ») – de beaucoup plus loin sûrement que notre personne ou même notre espèce ».

Comme il le note:

« La vérité c'est d'abandonner ses illusions, sa vanité, le contraire du vendeur et de la séduction ».

La physique mathématique usuelle, fondée sur la modélisation, s'abandonne à certaines illusions et recourt à la séduction en évoquant la beauté et l'élégance, en les associant à la vérité, ce qui lui permet d'une part de cacher un certain nombre de difficultés épistémologiques et aussi de mieux vendre son idéologie, sous couvert d'adéquation à l'expérience. En procédant ainsi, on passe sous silence le fait que si cette adéquation est une condition nécessaire à la physique elle reste loin d'être une condition suffisante.

La dimension **esthétique** évoquée souvent par les mathématiciens dans le choix volontaire de leur axiomatique qualifiée d'élégante et belle est ici dépassée par une **éthique** qui relève d'un principe d'humilité et d'écoute attentive de la **voix des choses**, comme Grothendieck ne cesse de le rappeler :

« Ce qui fait la qualité de l'inventivité et de l'imagination du chercheur, c'est la qualité de son attention, à l'écoute de la voix des choses. Car les choses de l'Univers ne se lassent jamais de parler d'elles-mêmes et de se révéler, à celui qui se soucie d'entendre ».

Évoquant sa conception unificatrice grâce à la notion de « motif », il écrit :

« J'ai dégagé la notion de “motif” associé à une variété algébrique. Par ce terme, j'entends suggérer qu'il s'agit du “motif commun” (ou de la “**raison commune**”)... ».

Ne se contentant pas de s'adresser aux mathématiciens, il est conscient que la généralité de sa démarche peut être transposée dans d'autres domaines et appliquée à d'autres structures formelles que celles qu'il a développées. Il cherche donc à faire passer son message par une métaphore musicale comme Leibniz l'avait fait quelques siècles avant lui : les dimensions mélodique et harmonique de la musique y conviennent. Pour mieux faire saisir ce qu'il entend par « motif », il écrit :

« Ainsi, le motif associé à une variété algébrique constituerait l'invariant cohomologique “ultime”, “par excellence”, dont tous les autres (associés aux différentes théories cohomologiques possibles) se déduiraient, comme autant d’“incarnations” musicales, ou de “réalisations” différentes. Toutes les propriétés essentielles de “la cohomologie” de la variété se “liraient” (ou s’“entendraient”) déjà sur le motif correspondant, de sorte que les propriétés et structures familières sur les invariants cohomologiques particularisés... seraient simplement le fidèle reflet des propriétés et structures internes au motif. C'est là, exprimé dans le langage non technique d'une métaphore musicale, la quintessence d'une idée d'une simplicité enfantine encore, délicate et audacieuse à la fois. »

Selon lui, la nouveauté peut être saisie parfois à la suite de la convergence de divers points de vue, susceptible de suggérer l'existence encore cachée d'une harmonie qui reste à découvrir. C'est ainsi qu'il note :

« Il arrive, parfois, qu'un faisceau de points de vue convergents [...] donne corps à une chose nouvelle » puis il ajoute :

« C'est bien cette harmonie, non encore apparue mais qui sûrement “existait” déjà bel et bien, quelque part dans le giron obscur des choses encore à naître – c'est bien elle qui a suscité tour à tour ces thèmes qui n'allaient prendre tout leur sens que par elle, et c'est elle aussi qui déjà m'appelait à voix basse et pressante ». Tout cela ne se fait pas instantanément et dans la hâte mais relève du long terme :

« Une vision nouvelle est une chose si vaste, écrit-il, que son apparition ne peut sans doute se situer à un moment particulier, mais qu'elle doit pénétrer et prendre possession progressivement pendant de longues années, si ce n'est sur des générations, de celui ou de ceux qui scrutent et qui contemplent ».

On retrouve ici les idées leibniziennes de convergence de points de vue, d'harmonie et de refus de toute précipitation, exigeant un approfondissement des choses avant de se lancer dans des formalisations hâtives et constructions paresseuses trop humaines, selon lui, pour résister à l'usure du temps. Selon Leibniz, la joie de la découverte d'une formalisation compatible avec l'expérience fait perdre l'essentiel pour ne s'occuper que de l'existential. Le perspectivisme infini de Leibniz – qu'on a développé en physique – requiert une distinction nette entre ce qui relève de l'essence et ce qui n'est que modalités d'existence, dont le nombre est potentiellement infini. Une telle vision s'ouvrant sur une infinité de perspectives que Leibniz appelle parfois des perceptions, trouve un écho dans le poème (*le mariage du ciel et de l'enfer*) de William Blake :

« Si les portes de la perception étaient nettoyées, toute chose apparaîtrait à l'homme telle qu'elle est, infinie ».

Afin d'établir des liens avec d'autres démarches, il convient de rappeler avec insistance que Grothendieck fait confiance dans son travail, non pas à ce qu'il décide volontairement de faire ou non mais à ce qui s'impose involontairement, à cette humble **voix des choses** selon ses propres termes :

« J'ai fait confiance simplement, comme par le passé, à l'humble voix des choses ».

Parentés de Grothendieck avec Thom, Gödel et Leibniz :

Faire ainsi confiance à l'humble voix des choses présente une parenté avec ce que René Thom appelle « entrer dans la peau d'un système » pour le saisir dans sa vérité, de l'intérieur et non de l'extérieur en l'abordant selon un angle ou un autre. Comme on le verra plus loin, cela trouve aussi un écho chez Gödel qui ose s'exprimer dans le langage théologique de Leibniz, affirmant que parmi les multiples démonstrations possibles qui relèvent de points de vue externes, la plus parfaite de toutes est celle interne et objective « qui est réalisée en Dieu », selon ses propres termes. On reconnaît là la vision de Leibniz qu'il associe métaphoriquement à l'œil de la raison, un œil immatériel qui relève de l'entendement et qu'il nomme parfois « Œil de Dieu ».

On pourrait croire à première vue qu'il y a là un glissement, un illogisme, voire même un dérapage en passant de l'humain au divin mais il n'en est rien. Leibniz adhère à « l'univocité de l'être », position philosophique pour laquelle l'entendement humain et « l'entendement divin » sont de même nature et ne diffèrent que par le degré (fini pour l'homme et infini pour Dieu). C'est cette position – anti-cartésienne et anti-kantienne – qui permet à la raison humaine de n'être plus condamnée à s'en tenir à la sphère de la subjectivité personnelle mais à être capable de s'élever au-dessus de cette sphère pour une vue panoramique, objective et impersonnelle ou transpersonnelle.

Kurt Gödel

Gödel se réclame explicitement de Leibniz qu'il a étudié en profondeur (*d'autres ont développé des cadres de pensées apparentés à celui de Leibniz, sans s'y référer ou même sans en avoir connaissance*). Dans son article « Utopie et réalité : Leibniz, Gödel et les possibilités de la logique mathématique », J. Bouveresse, commentant le livre de Wang relatif à ses entretiens avec Gödel, écrit :

« Wang résume sa position en disant que « Gödel semble vouloir continuer à partir de l'endroit où Newton et Leibniz se sont arrêtés, et croire que le cours de l'histoire après le XVII^e siècle a régressé plutôt que progressé, sauf pour ce qui concerne l'accroissement de l'information (mais non de la compréhension réelle) en mathématiques, dans les sciences de la nature (et dans certains autres domaines) ». Plus loin il ajoute :

« Il (*Gödel*) n'est pas satisfait de la compréhension que Newton a des concepts physiques, mais souhaite continuer la tentative faite par Leibniz pour analyser plus profondément les concepts physiques d'une manière telle que ceux-ci soient fusionnés avec les concepts réellement primitifs de la métaphysique. De ce fait, en particulier, il n'est pas satisfait des "fondements métaphysiques" kantien de la physique (newtonienne, plutôt que leibnizienne). Le point crucial, bien sûr, est que l'entreprise de Kant consacre à ses yeux le divorce regrettable de la physique d'avec la métaphysique. Comme la plupart des représentants de la tradition philosophique autrichienne, Gödel n'est pas impressionné par la révolution que Kant est supposé avoir effectuée et par la façon dont elle a déterminé pour une part essentielle l'orientation de la philosophie au cours du XIX^e siècle. Il pense que ce sont essentiellement les « préjugés de l'époque » qui nous empêchent de reconnaître que l'on pourrait très bien essayer de reprendre les choses à un stade antérieur. »

La vision de Gödel est claire : il y a eu progression informationnelle mais régression de la compréhension réelle, d'où une insatisfaction quant à la compréhension des concepts physiques qu'impose Newton (*suivi par Kant et les physiciens*). Il revient à un stade antérieur, à Leibniz pour recoller ce que Newton, Kant et d'autres avaient brisé en séparant la physique de la métaphysique. Non seulement leur conception était métaphysique, mais il s'agissait aussi d'une métaphysique très particulière, d'une pauvreté extrême (locale et dégénérée), fondée sur des croyances aventureuses, et des fausses vérités. La science de Newton et Kant, pour s'adapter à la modélisation, a refoulé la métaphysique d'Aristote – qui inspire d'ailleurs le perspectivisme de Leibniz, selon laquelle « l'être se dit selon diverses acceptations » – au profit d'une métaphysique mécaniste, simpliste et réductrice. Il s'élève contre ce réductionnisme modélisateur – incapable de saisir le réel autrement qu'à partir d'un point de vue particulier, spécifié sans raison et surtout non nécessaire. Et la démarche d'Einstein engluée dans les préjugés de l'époque newtonienne n'y fait rien.

Comme nous le montrons en dynamique, seul un retour à Leibniz et à sa critique du mécanisme (cartésien comme newtonien) et de sa logique exclusive et abusive vers une logique inclusive peut faire sortir de l'ornière du mécanisme et entrer dans les multiples acceptations de l'être aristotélicien, revu et corrigé par Leibniz. C'est seulement ainsi qu'on peut accueillir le réel dans toutes ses dimensions et éviter l'extrême étroitesse de l'impasse à laquelle condamne la démarche de modélisation.

Dans le même article, J. Bouveresse donne des précisions sur la conception leibnizienne – qui est aussi celle de Gödel – d’une science qui se construit progressivement et qui finit par déboucher sur une économie de pensée substantielle, après avoir découvert, à force de retours sur elle-même (jusqu’à la perfection) et d’approfondissements successifs, ses concepts adéquats. Il écrit :

« Leibniz souligne qu’en même temps que les sciences se complexifient et s’étendent par le haut (au niveau des superstructures) elles se simplifient et se condensent par le bas (au niveau des éléments et des fondements) [...] On peut même dire que les sciences s’abrègent en s’augmentant, [ce] qui est un paradoxe très véritable, car plus on découvre des vérités et plus on est en état d’y remarquer une suite réglée et de se faire des propositions toujours plus universelles dont les autres ne sont que des exemples ou corollaires, de sorte qu’il se pourra faire qu’un grand volume de ceux qui nous ont précédés se réduira avec le temps à deux ou trois thèses générales. Aussi, plus une science est perfectionnée et moins a-t-elle besoin de gros volumes car, selon que ses éléments sont suffisamment établis, on y peut tout trouver par le secours de la science générale ou de l’art d’inventer. »

Comme nous l’avons vu, c’est ce qu’affirme Grothendieck en constatant que la généralisation qu’il apporte ne conduit pas seulement à une simplicité enfantine, selon ses propres termes, mais elle n’a plus besoin d’un grand nombre de pages pour la saisir dans ce qu’elle a de plus remarquable et essentiel.

Bouveresse, se référant à Gödel, écrit :

« Il n’y a, effectivement, aucun doute sur le fait qu’une fois que nous disposons des bons concepts, et plus encore des bons axiomes pour eux, un grand nombre de questions qui ne l’étaient pas auparavant deviennent généralement abordables et décidables de façon systématique. [...] il (Gödel) est d’accord avec Leibniz et l’est notamment dans la compréhension que Leibniz a de la nature des concepts physiques. Gödel a expliqué, du reste, que, s’il était parvenu à construire un système philosophique, cela aurait été une forme de monadologie ». Et Bouveresse précise enfin :

« À la fin de son article sur « La logique mathématique de Russell », il (Gödel) écrit : « Il n’y a pas de raison d’abandonner tout espoir. Leibniz, dans ses écrits sur la *Characteristica universalis*, ne parlait pas d’un projet utopique ; si nous devons croire ce qu’il dit, il avait développé son calcul du raisonnement dans une large mesure, mais attendait pour le publier que la semence puisse tomber sur un sol fertile [...] l’humanité disposerait d’une nouvelle espèce d’instrument augmentant les pouvoirs de la raison beaucoup plus qu’un instrument optique quelconque n’a jamais aidé le pouvoir de la vision ».

Dans « Les démons de Gödel », Pierre Cassou-Noguès note que, d’après Gödel, un théorème se laisse toujours énoncer et démontrer de plusieurs façons, mais il y a une formulation parfaite « objective » : « c’est celle qui est réalisée en Dieu », et « elle est vue en Dieu ». Gödel s’inspire probablement de Leibniz selon lequel le meilleur moyen d’accéder à la réalité c’est d’éviter d’adopter une quelconque perspective particulière au profit de la « perspective des perspectives » que Leibniz associe à l’« œil de Dieu », la seule à pouvoir être transpersonnelle et intrinsèque.

Gödel affirme que la découverte d'une procédure non mécanique pour former des axiomes passe par la position de nouveaux concepts mais aussi par un approfondissement et une compréhension de notre esprit. Nos mathématiques lui apparaissent comme un état provisoire de la connaissance humaine, en attente d'une révolution qui nous donnerait de nouveaux concepts et une autre compréhension de notre propre esprit. Ce serait en réalité une transformation totale de notre culture, de notre façon de penser, le début d'une nouvelle époque. Et il écrit :

« la réalisation de telles procédures requerrait un développement des facultés de l'esprit humain bien au-delà du stade qui a été atteint dans notre culture/dans la science d'aujourd'hui ».

Pour lui, le rationalisme en sciences (*dans la « mécanique rationnelle » de Lagrange par exemple*), est loin d'être satisfaisant. Il se situe bien en deçà des exigences du principe de raison suffisante de Leibniz qui conduit à son « rationalisme intégral » et son perspectivisme monadologique infini. Gödel ne cesse de répéter à Wang :

« Aujourd'hui, le rationalisme est compris en un sens **absurdement étroit**. [...] Le rationalisme ne doit pas faire seulement intervenir des concepts logiques. »

Gödel affirme que la logique qu'il met en place est ancrée dans sa philosophie :
« Mon travail est l'application d'une philosophie suggérée en dehors de la science mais obtenue à l'occasion d'une étude des sciences ».

Comme Grothendieck, Gödel veut aller à l'essentiel pour éviter de s'embourber dans des détails infinis. Ceux-ci font perdre le caractère compact et concentré de l'essence au profit du caractère étalé et dilué des innombrables modalités d'existence. C'est ainsi qu'il écrit à sa mère :

« Les aphorismes sont à mon goût. J'aime tout ce qui est court, et je trouve en général que **plus un texte est long, moins il en contient**. »

A l'instar de Thom, Gödel privilégie le qualitatif pour dépasser la raison telle qu'elle se manifeste usuellement dans le cadre scientifique :

« Le dépassement de la raison, écrit-il, a lieu à propos du mystérieux d'une façon particulière, non par complication ou quantitativement, mais de façon qualitative (c'est-à-dire par un concept simple, celui de l'existence universelle dont nous n'avons aucune représentation claire) ».

En physique, le mouvement ne relève pas de la réalité mécanique en tant que telle mais de l'ensemble, potentiellement infini, des points de vue qu'on peut avoir sur cette réalité ; dit autrement, le mouvement ne se rapporte pas à l'essence mais aux modalités d'existence dont le nombre n'est pas rationnellement connaissable a priori. Ainsi, en spécifiant le mouvement selon une modalité quantitative ou une autre comme le font toutes les modélisations, on violerait le principe de raison de Leibniz qu'il faudrait satisfaire pour accéder à une rationalité digne de ce nom, d'où la primauté du qualitatif. Le quantitatif, dans ses multiples versions, ne doit apparaître qu'ultérieurement et donc secondairement, comme un résultat interdépendant, relationnel et collectif et non sous la forme de données a priori, indépendantes, isolées et individuelles comme c'est usuellement le cas.

L'intentionnalité et la volonté du sujet connaissant jouent un rôle majeur dans la constitution des diverses modélisations scientifiques. Or la volonté consciente est d'une extrême étroitesse par rapport à ce que peut véhiculer l'inconscient, surtout l'inconscient collectif, d'où les

dégâts et la violence qui peuvent provenir de la croyance en la valeur objective d'une science limitée à la région de la seule conscience.

La démarche conceptuelle de Gödel présente une grande affinité avec celle de Jung. En effet, Gödel s'inspire de la psychanalyse telle qu'elle est enseignée par Jung où l'inconscient est conçu comme une « force créatrice ». Il n'est pas seulement un réservoir de fantasmes et de désirs refoulés, comme chez Freud, mais un aspect véritable de la personnalité et le fond sur lequel s'appuie la force créatrice. C'est à l'inconscient qu'il faut faire remonter les véritables créations de l'homme. Ce qui échappe à l'ego conscient sort de ce fond inconscient sur lequel l'ego s'appuie. Selon Gödel, le fait de rapporter nos objets à un inconscient véritable leur donne une réalité indépendante. Il suffit que cet inconscient soit radicalement inconscient, qu'il nous soit à la fois étranger et commun, à nous tous.

Il y a des idées que nous formons de nous-mêmes, il y a des idées qui nous viennent de la perception sensible, et il reste, dit Gödel dans sa conversation avec Wang, une troisième chose :

« quelque chose comme un esprit qui représente alors un aspect ou un plan de la réalité objective ». Gödel n'écarte pas l'idée que le fondement des sciences appelle une méthode d'examen comparable à la méthode psychanalytique qu'il réinterprète pour en faire une pensée objective donnant à ses objets le même degré de réalité qu'une existence extérieure.

Dans une lettre au philosophe américain M. Scurlock, Gödel écrit :

« J'ai prouvé qu'un système d'arithmétique complètement formalisé (comme une machine) est ou bien inconsistant, ou bien incomplet. De même, peut-être, on peut s'attendre à ce qu'une société sans liberté aucune (c'est-à-dire procédant en tout selon des règles strictes de « conformité ») sera, dans son comportement, ou bien inconsistante ou bien incomplète, c'est-à-dire incapable de résoudre certains problèmes peut-être d'importance vitale. Aussi bien l'inconsistance que l'incomplétude peuvent bien sûr mettre en danger sa survie dans une situation difficile. Une remarque similaire pourrait s'appliquer aux êtres humains individuellement ».

Dans le brouillon de cette lettre, on peut lire :

*« Il y a une analogie entre (1) une arithmétique formalisée et une société sans liberté aucune... (2) une arithmétique intuitive qui admet **l'introduction de nouveaux axiomes à n'importe quelle étape** et une société démocratique et libre. De même pour les êtres humains individuellement. »*

Gödel, comme Grothendieck, critique la démarche formelle usuellement utilisée, trop pauvre pour rendre compte de la richesse du réel. Ayant développé des idées métaphysiques et mystiques avec des comportements étranges par rapport à leurs collègues et aux communs des mortels, on a taxé de « fous » et délirants – au regard des croyances scientifiques usuelles comme de la vie « normale » en société – leurs intuitions et leur comportement.

Pour atténuer cette sensation d'étrangeté, imaginons qu'un scientifique (logicien ou mathématicien) accède à une intuition qui le projette dans un monde conceptuel inédit et lui en donne une nouvelle connaissance (*munie d'une logique inclusive et à multiples points de vue*), relevant d'un certain absolu qui tranche avec le relativisme contemporain, fondé sur une multiplicité éparse de points de vue exclusifs. (*C'est bien le cas de la vision mécaniste trop*

réductrice, par principe, incapable d'une quelconque connaissance inclusive). Le scientifique en question en revient détenteur d'une série de principes et d'inférences que ses contemporains ne comprennent pas, qu'ils ne peuvent pas suivre, puisque leur pensée à eux est déterminée par des règles mécaniques. Le discours est inadéquat par rapport à l'entendement usuel, il semble réellement insensé. On l'écoute mais on ne comprend pas sa logique interne et les règles qui lui sont sous-jacentes. Les quelques fois où l'on croit le comprendre, on se trompe. Ses énoncés s'enchaînent selon des règles différentes de celles que l'on connaît. Il apparaît fou. Cela peut ne pas se voir, si son discours est mal compris et chaque segment de ce discours confondu avec la parole mécanique à laquelle on est habitué. Son discours suit une logique qui dépasse toutes celles habituellement utilisées. C'est un discours qui ne devait s'actualiser que plus tard. Il y a donc une folie qui n'est pas seulement relative au décalage avec les croyances et à l'esprit du temps, jugée comme hors de propos. Cette « **folie** » est **absolue**, en ce qu'elle suit une logique qui dépasse celle qu'on utilise usuellement pour communiquer et réfléchir.

Au-delà de ce qui a pu être dit sur la folie de certains grands scientifiques, cherchons à voir ce que la démarche de Gödel – inspirée de la monadologie de Leibniz considérée, au moins en physique, comme une démarche appartenant à un passé dépassé – peut apporter à la science de notre temps.

On est face à une alternative : ou bien la monadologie à laquelle Gödel croit est fautive et Gödel vit dans l'illusion, ou bien c'est le monde phénoménal, avec ses apparences, qui n'est qu'un rêve, une image fondée sur une réalité qu'elle n'exprime pas adéquatement. Et il faudra, un jour, nous réveiller. C'est cette seconde attitude que nous adoptons, *et que nous avons développé en physique, preuves et démonstrations à l'appui, à partir des fondements de la dynamique*.

Persuadé de la puissance de la pensée leibnizienne, Gödel ose perpétuer le langage théologique de Leibniz, à une époque, où la seule évocation de Dieu suffit pour disqualifier toute pensée aussi pertinente soit-elle. Cela apparaît dans une note des cahiers philosophiques :

« La raison apparaît comme une instance de conseil immanente à nous, ou, d'une certaine façon, un émissaire de Dieu, ou le Verbe de Dieu incarné ».

Cette affirmation s'apparente, à celle utilisée par le philosophe et mystique S. Weil caractérisant l'homme comme étant « **un néant capable de Dieu** » comme à celle de Leibniz établissant un lien direct entre les entendements divin et humain, qui diffèrent uniquement par degré et non par nature (*Univocité de l'être*).

Le recours de Gödel à ce divin n'a pas été stérile : il a conduit, comme chez Grothendieck, à la recherche d'une mathématique supérieure capable d'expliquer celle qu'on a développée jusqu'alors, et c'est ce caractère explicatif qui lui confère son caractère divin.

« Nos mathématiques, écrit-il, ne sont pas adéquates à leur réalité. Elles semblent se trouver dans la même situation que la physique par rapport à la réalité matérielle ». Certes, elles sont exactes mais leur approfondissement montre qu'on n'a pas été assez à l'écoute de « **la voix des choses** » pour reprendre Grothendieck, ou encore on n'est pas entré dans la « **peau des choses** », selon les termes de Thom. Comme le souligne aussi Whitehead, **l'exactitude reste une imposture** tant qu'elle n'est pas étayée par une conceptualisation rigoureuse et irréprochable.

Dans les conversations avec Wang, Gödel précise qu'à la différence de la machine, l'esprit peut « comprendre son propre mécanisme ». Il entend poursuivre le rêve leibnizien quant à la possible constitution d'un langage universel, considéré par la modernité comme chimérique et illusoire. Pour cela, il fait de la réflexion une faculté de l'esprit capable d'engager un développement infini et non mécanique, d'où l'importance du développement d'une mathématique supérieure capable de formaliser la philosophie elle-même et bien sûr de mieux saisir les formalismes trop pauvres qu'on a développés jusqu'à présent pour accéder au réel, toujours récalcitrant et entaché d'ambiguïtés et de contradictions.

En expliquant ce que Gödel pense des scientifiques, Pierre Cassou-Noguès écrit :

« Ils avaient réduit la connaissance à « **l'art de ramper** »... En fait, ils étaient aveuglés par l'analyse des moyens de la connaissance et refusaient toute proposition qui ne provenait pas directement de l'une de ses deux méthodes : la méthode *a priori*, qui procède par déduction à partir de quelques axiomes immédiats, et la méthode *a posteriori*, qui part de l'expérience ».

Selon Gödel, notre science modélisatrice n'est qu'une étape intermédiaire dans l'approche de la réalité, ce qui rend légitime la distinction entre les réels principes et ceux qui ne sont que provisoires, résultants de notre ignorance et destinés donc à être dépassés. Si tout est comme on le perçoit, comme Leibniz l'avait précisé, il n'en reste pas moins que nos perceptions sont si incomplètes que non seulement nous percevons une partie des choses mais aussi une **partie de ces parties**.

Gödel rejoint là, comme nous allons le voir, Whitehead qui – après avoir affirmé qu'il n'y a pas que des petits bouts de compréhension mais aussi des **petits bouts de liaisons entre ces petits bouts** – enjoint à dépasser ces niveaux d'intelligibilités extrêmement pauvres, qu'il appelle « fragments d'intelligence ».

Cassou-Noguès affirme que la métaphysique de Gödel et la cosmologie de Whitehead sont des **monadologies**, c'est-à-dire des théories de la science articulant la dynamique intérieure d'entités primitives et irréductibles (monades pour Gödel, entités actuelles pour Whitehead) et le système intégral de leurs relations mutuelles (univers). Et leurs interprétations de la théorie de la relativité sont liées à ces monadologies.

Alfred North Whitehead

A côté de Gödel, Whitehead est sans doute le philosophe qui se rapproche le plus de Leibniz parmi ses contemporains. Il partage des visées intellectuelles – mathématiques, physiques, métaphysiques – du philosophe de Hanovre, et poursuit certains de ses projets : formalisme logique, entreprise de conciliation de la religion avec la science. Il réhabilite pour l'insérer dans sa philosophie organique le dynamisme leibnizien et reprend les grands thèmes de la monadologie – mentalisme, individuation du réel, perception, perspective, appétition.

Il ne se contente pas de suivre Leibniz, il le réactualise – et s'y oppose à certains égards – en se le réappropriant pour mieux affirmer ses positions et convictions philosophiques.

La production mathématique de Whitehead s'est toujours concentrée sur les contradictions logiques du mécanisme, ce qui explique à la fois l'indifférence manifeste pour les langages formels dépourvus d'interprétation dans le domaine du réel, et la dissension souterraine envers Russell, « paladin d'un logicisme indifférent à la nature et d'un espace indifférent à la matière ». Il écrit, dans « Modes of Thought » :

« Il y a très peu de compréhension à grande échelle, même parmi les mathématiciens. Il y a des petits bouts de compréhension, et il y a des **petits bouts de liaisons entre ces petits bouts**. Ces détails de liaison sont bien compris, mais ce sont des fragments d'intelligence qui se succèdent l'un l'autre et ne se tiennent pas ensemble en une seule coordination large et évidente en soi ».

Des croyances communes et des positions intellectuelles considérées comme évidentes, il écrit – bien avant Kuhn :

« Lorsqu'on critique la philosophie d'une époque, il ne faut pas diriger principalement son attention sur les positions intellectuelles que ses représentants croient nécessaire de défendre explicitement. Il y aura certaines hypothèses fondamentales que les adhérents de tous les systèmes différents au sein d'une époque présupposent inconsciemment. Ces hypothèses paraissent si évidentes que les gens ne savent pas qu'ils les assument, l'occasion de voir autrement les choses ne s'étant jamais présentée à eux. Avec ces hypothèses, un certain nombre limité de types de systèmes philosophiques sont possibles, et ce groupe de systèmes constitue la philosophie de l'époque ».

Pour Whitehead, comme pour Leibniz, il est insuffisant de se contenter de la modélisation, restreinte par nature à une seule perspective dont l'exactitude et la simplicité formelles ne font qu'aggraver la tyrannie et l'imposture. Les critères qui tentent de les justifier relèvent de la séduction et de l'esthétique (*beauté et élégance*), non de l'explication et de l'éthique. S'abandonner à une telle perspective, limitée et incomplète, constitue un coup de force auquel il ne faut pas succomber, même s'il est accompagné d'une exactitude formelle. Certes, la limitation à une seule perspective, mathématiquement et logiquement irréprochable et sans faille, conduit à un raccourci substantiel, mais il n'y a pas de raccourci pour la vérité qui doit être dite rigoureusement et dans sa globalité faute de quoi elle se trouve déformée et châtrée, n'étant saisie que de l'extérieur selon un seul angle de vue, ce que fait la modélisation.

Dans l'ouvrage collectif : « Perspective : Leibniz, Whitehead, Deleuze », Benoît Timmermans note que chaque perspective est liée aux autres par des rapports exacts et précis. Mais en même temps, comme ces rapports précis relient cette perspective à l'infinité de l'univers, elle ne pourra jamais les traduire que de façon limitée, incomplète, inexacte. D'où cette phrase célèbre de Whitehead :

« **L'exactitude est une imposture** », affirmation qui vise aussi bien la logique que les mathématiques. Whitehead rejoint ici Thom dont nous avons vu la critique des mathématiques et des logiques exclusives et quantitatives ainsi que toute démarche purement formelle, le réel devant précéder le formel et le guider. En voulant créer une théorie de la signification, dont la nature soit telle que l'acte même de connaître soit une conséquence de la théorie, Thom et Whitehead vont au-delà des arguments **esthétiques** pour y asseoir une **éthique**, non pas externe comme celle qui se rapporte aux applications scientifiques, mais interne à la structure même de la science (*voir annexe B*) : la limitation à l'exactitude mathématique ne se préoccupant pas de la rigueur conceptuelle relèverait de l'imposture et de la tyrannie. Une telle éthique interne et unificatrice n'est pas une simple curiosité philosophique (légitime), c'est une nécessité pour éviter que la science, par ses coupures abusives et leur éparpillement, coure à sa perte, sciant les branches sur lesquelles elle devrait reposer. On retrouve ici Leibniz :

« Le nombre des livres et la confusion des choses nous effraie » ou encore :

« La multitude des auteurs qui deviendra infinie en peu de temps les exposera tous ensemble au danger d'un oubli général ».

Dans le même texte, Timmermans ajoute :

« Une perspective a beau s'inscrire dans un ordre exact et déterminé, qui lui est propre, le fait même de s'y inscrire la lie à tellement de choses qu'elle ne pourra jamais refléter entièrement, ou exactement, ce même ordre. En un sens, on pourrait dire ici que la perspective fonctionne selon le même régime que la décision : une décision aussi nous confronte à un monde de réalités exactes, déterminées, mais prétendre pour autant qu'une décision est « vraie » ou « fausse », « exacte » ou « inexacte », relève de l'imposture. Toutefois la perspective n'a rien de volontariste, au sens où l'ordre dans lequel elle s'inscrit serait entièrement dominé, produit par un sujet... Elle est une création, mais à la recherche de ce qui la détermine ».

Cette création s'apparente à ce qu'Einstein nomme : « libre création de concepts ». Mais Whitehead va plus loin en quête de l'origine de ces concepts, de ces entités individuelles, certes libres extérieurement, mais devant cependant être déterminés intérieurement à partir d'un processus interne d'individuation. Comme le note Whitehead :

« La concrescence de chaque entité actuelle individuelle est déterminée intérieurement et libre extérieurement ».

Ainsi, cette création ou créativité se trouve intimement liée à une certaine forme d'harmonie globale faisant passer d'une **multiplicité** éparse et disjointe à une **unité** capable de lier ces entités individuelles éparpillées. Ce qui apparaît comme oppositions (*ou différences de nature*) n'est que simples contrastes (*ou différences de degrés*) d'un seul et même cadre éclairé selon différentes intensités. C'est ainsi que dans « Process and Reality », Whitehead évoque ce qu'il appelle la Créativité dont la tâche suprême est, selon ses propres termes :

« de transformer une multiplicité disjointe, avec ses oppositions, en une unité conrescente, avec la diversité de ses contrastes ».

Comme chez Leibniz, les **oppositions** ne sont plus vraiment des oppositions mais de simples **contrastes** reflétant des points de vue différents mais néanmoins complémentaires d'une seule et même réalité (ou unité sous jacente). L'exigence de Whitehead correspond à l'**unification** opérée par Grothendieck et à ce que Thom appelle un **concept étendu** associé dans notre approche à la **logique inclusive** où les **oppositions**, au regard des modèles avec leurs logiques exclusives, deviennent de simples **contrastes**, saisissables entièrement par la théorie, à multiples points de vue, munie de sa logique inclusive.

Alors que la physique antique était tournée vers l'explication et la méditation, la physique moderne s'est tournée vers l'exploration et la prédiction, mettant l'accent sur l'articulation entre expérience physique et formalisme mathématique mais sans réellement se préoccuper de la rigueur conceptuelle et de la cohérence globale, nécessaires à l'intelligibilité.

Comme le note Isabelle Stengers, dans : « Perspective : Leibniz, Whitehead, Deleuze » :

« Dans *The Newtonian revolution* (Cambridge, Cambridge University press, 1983), Bernard Cohen souligne que la nouveauté de l'astronomie newtonienne passe par un rôle que l'on pourrait dire constructiviste assigné aux mathématiques. Celles-ci ne sont plus assignées à l'intelligible, mais à une expérimentation dont le point de départ est une situation fictive, délibérément simplifiée, mais sujette à une représentation mathématique exacte... La preuve tient donc à la convergence entre une représentation mathématique de plus en plus sophistiquée et complète, et une fidélité de plus en plus exigeante aux données observationnelles. Depuis Newton, la « mécanique céleste » a été ainsi un champ physico-mathématique expérimental, développant toutes les techniques mathématiques qui permettent d'intégrer toujours plus de « détails ». A la monotonie des « lois » d'interaction entre masses en mouvement correspond donc l'étude d'une « réalité » de plus en plus individualisée, « ce » système planétaire, et non un système dynamique en général ».

Ce réductionnisme physico-mathématique est issu de la méthode en sciences physiques où ce qui se fait relève de la conscience du sujet combinée à la mesure expérimentale. La démarche scientifique est, de bout en bout, ancrée dans un choix particulier, une perspective individuelle, humaine trop humaine, incapable d'accéder à ce qui est objectif et impersonnel ou transpersonnel.

Dans l'ouvrage collectif : « Quine, Whitehead et leurs contemporains », Didier Debaise rappelle ces jugements de Whitehead :

« Tout ce dont nous sommes conscients, en tant qu'aimé, perçu, voulu ou pensé, doit avoir le cas particulier du schème général »

« Il n'y a aucun principe premier qui soit en lui-même inconnaissable ».

*Ces considérations renvoient à notre volonté de ne pas nous contenter d'un certain nombre de principes physiques de base et de les dépasser, en dynamique, en les déduisant à partir d'une « Matrice Mère » qui les engendre et les explique. Cela a pu être réalisé grâce à l'introduction d'un **opérateur** rendant concevable des formes nouvelles d'un ordre **supérieur**, impossibles à saisir au travers d'une quelconque modélisation.*

Le philosophe de la science qu'est aussi Whitehead ne veut pas simplement s'en tenir à des règles, et faire confiance à leur efficacité déductive. Il lui faut choisir et organiser les signifiés propres des symboles, afin d'accéder à une science qui explore mais aussi explique. Comme le note Luca Gaeta, Whitehead introduit un opérateur qui rend concevables des événements d'un ordre supérieur. Du point de vue philosophique, on ne saurait surestimer les conséquences de ce coup magistral. La charpente conceptuelle whiteheadienne se partage à ce niveau en deux domaines spéculaires : la nature autosuffisante, et sa reconnaissance. Leur correspondance dans le foyer vivant du corps nous permet « une expérience individuelle de quelque chose qui est plus que personnel ». Dans l'évènement percevant ont lieu simultanément l'appréhension et la reconnaissance.

A propos de ce relationnisme, issu de celui de Leibniz, Isabelle Stengers note : « cette « conscience générale », bien sûr, n'est pas une donnée statique qui jugerait, elle est ce que la philosophie doit élucider, c'est-à-dire modifier, mais elle n'en est pas pour autant malléable : elle a les vertus de la récalcitrance, qui sait dire « non » lorsqu'une proposition « rate », c'est-à-dire **explique en éliminant**, en proposant, à la manière des sciences particulières, de « faire abstraction » de ce qui lui fait obstacle ».

Le mécanisme, pour Whitehead, est marqué par un concept trop étroit de l'expérience qui au lieu de rendre compte du monde « bourdonnant » autour de nous et **solidaire** ne nous introduit qu'à des éléments **solitaires**.

Certes, les philosophes du 17^{ème} siècle n'étaient pas tous mécanistes mais dès lors qu'on passe à une quelconque formalisation, la situation devient préoccupante et contradictoire à cause de la pauvreté structurelle des mathématiques de l'époque. Whitehead note, en donnant l'exemple de Locke, qu'on peut avoir une philosophie **adéquate mais non cohérente** : adéquate car l'expérience est donnée dans ses dimensions larges ; incohérente car sa formulation est en contradiction avec ce que cette philosophie cherche à exprimer.

Whitehead introduit le terme « relatedness » pour signifier la **solidarité** d'une entité avec d'autres entités. Il pense qu'on va toujours vers **plus de conjonction** à partir d'une disjonction première.

Comme le note Sébastien Poinat, dans : « Whitehead et les pères de la mécanique quantique » :

« sa théorie de l'organisme ouvre des perspectives susceptibles de nous sortir des impasses auxquelles nous accule la conception matérialiste de la nature », rappelant la citation de Whitehead :

« La théorie organique de la nature autorise des possibilités, pour reconsidérer les lois physiques ultimes, qui ne sont pas ouvertes à la théorie matérialiste concurrente. »

En mécanique, le point (état de repos par exemple) – dont le prolongement fournit usuellement une courbe – n'est plus inerte, individuel, isolé et indépendant : il devient vivant, collectif, relationnel et interdépendant. Il ne s'agit plus d'un simple point mais d'un point d'accumulation dont le prolongement se déploie en structure arborescente (famille de courbes qui convergent vers un point fixe selon une tangente commune : le tronc). L'intuition première n'est plus celle du grain de sable inerte mais de la graine vivante qui donnera un arbre.

Whitehead comme Thom adhèrent à la philosophie de l'organisme et de la vie qui remonte à Aristote et qui reste ancrée dans le réel loin des idéalités platoniciennes : selon eux, dès que l'esprit cesse d'être ancré dans l'univers, il erre. Whitehead s'oppose au mécanisme réductionniste et cadavérique en affirmant :

« La vie refuse de se faire embaumer vivante ».

Cette vision enracinée dans le vivant – à la recherche de liens entre l'extériorité et l'intériorité, la temporalité et l'éternité, la subjectivité et l'objectivité... – a été celle de Leibniz qui a effectué la jonction entre l'Antiquité et notre modernité et inspire des penseurs comme Thom, Grothendieck, Gödel, Whitehead, Musil... Deleuze souligne que c'est avec Leibniz que surgit en philosophie le problème qui ne cessera de hanter Whitehead : non pas comment atteindre à l'éternel, mais à quelle condition le monde objectif permet-il une production subjective de nouveauté, une création ?

A propos de Musil qui n'est pas inclus dans cette présentation, je voudrais mentionner quelques citations, dont deux tirées du livre de Marie-Louise Roth : "Robert Musil, biographie et écriture", Recherches 1980. Après la citation suivante : "Je ne connais plus d'énigmes : les choses arrivent, voilà l'unique sagesse" ; elle écrit : "Törless... se définit comme un être placé entre la raison et l'autre regard. Le vrai problème, en l'occurrence le changement de perspective... cette relation insaisissable qui donne aux événements et aux choses, selon l'endroit où nous les considérons, des valeurs inédites, incomparables entre elles, étrangères l'une à l'autre, est posée dès le premier roman. Törless refuse finalement de mettre ses... expériences sur le même plan ; il a acquis la certitude qu'il existe... une possibilité qui lui permettrait en définitive de surmonter l'ambivalence."

Note : Robert Musil, initialement investi dans les sciences et les techniques a écrit : « Les désarrois de l'élève Törless » avant de faire une thèse d'épistémologie sur Mach (avec Stumpf) et d'écrire « L'homme sans qualités » dont voici quelques citations :

« La marque de la véritable originalité n'est pas dans la vanité de la particularité, mais consiste à s'ouvrir, dans une part toujours plus haute de participation et de dévouement, et jusqu'au sacrifice ultime, à une communauté d'anonymes qui se fondent dans la masse. C'est qu'alors que le moi trouve son essence »

« Il est facile d'avoir des sentiments héroïques quand on est insensible de nature. Et de penser en kilomètres quand on ne sait pas quelle plénitude recèle le moindre millimètre. »

« La plus grande bassesse n'est pas de faire, mais de laisser faire. »

« Devons-nous nous résigner à cette époque matérialiste qui a fait du monde un jeu futile et criminel, dans lequel un être doué d'âme, pris entre l'athéisme, le socialisme et le positivisme, n'a pas la possibilité de s'élever à la hauteur de sa vraie nature ? »

Commentaires de Whitehead sur la physique :

Les idées de Whitehead ne se sont pas développées uniquement sur les terrains de la philosophie et des mathématiques mais en lien direct avec la physique en particulier à propos du passage du paradigme de Newton à celui d'Einstein dans le cadre duquel la vitesse de la lumière semble jouer un rôle majeur (*critique approfondie par Jean-Marc Lévy-Leblond*). Il y a, selon lui, quelque chose d'exagéré dans le rôle que joue la lumière dans la démarche einsteinienne : faire confiance aux messages lumineux, c'est en réalité admettre préalablement leur transmission uniforme. De plus : « ni les aveugles, ni les gens dans l'obscurité, ne sont dépourvus d'un sens de la simultanéité » affirme-t-il. La corrélation des systèmes de références est donc du ressort de l'abstrait.

Selon Whitehead, le point, au sens relationniste du terme, est un foyer vers lequel convergent une ou plusieurs séries, il est leur limite conceptuelle, issue purement abstraite d'un

processus générateur qui demeure cependant dans l'horizon du concret... Whitehead pose l'abstrait dans l'ordre des possibilités du concret, non plus au-delà.

Il écrit dans : « An enquiry concerning the principles of natural knowledge »:

« Nous ne pouvons pas, abandonner aisément le château, la planète et le nuage cramoisi, et espérer garder l'œil, sa rétine et le cerveau ».

Selon Luca Gaeta, c'est là que réside probablement l'origine de l'épistémologie de Whitehead. En articulant l'idée de relativité à la nature et à la connaissance dans un même cadre de pensée, il s'avère qu'il n'y a pour Whitehead rien d'absolu ni dans la nature, ni dans la connaissance, et que la perception sensible ne l'est donc pas plus que le reste. Nous disions plus haut que l'**abstrait** se donne dans la **perspective du concret**. Il nous faut maintenant ajouter que le **concret** de la perception sensible se donne **du point de vue de l'abstrait**. Toute connaissance, même la plus basse, a besoin d'abstraction.

« Si la gravitation newtonienne conserve sa validité dans un système de référence particulier, il n'en va pas de même pour les concepts fondamentaux du mécanisme tels le point, la particule, l'instant, dont l'extension est tout à fait générale. On ne peut se passer d'eux, car ils sont trop enracinés dans le corps de la science ainsi que dans le sens commun, mais les garder implique un changement radical dans la manière de les interpréter et, surtout, dans la façon d'analyser leur correspondance avec la perception. »

Comme Leibniz avant lui, nourri par l'idée relationniste, Whitehead parti à la recherche d'une correspondance entre la nature et la connaissance, est amené à concevoir une image du réel, avec ses lois uniformes, et le mystère nocturne de ses raisons métaphysiques. La recherche n'a pour terme qu'un nouveau commencement.

Conclusion

Cette analyse des démarches de Thom, Grothendieck, Gödel et Whitehead est une invitation à l'unité de la pensée. Comme l'écrit Juvénal : « Jamais la nature n'a eu un langage et la sagesse un autre ». Le fait de chercher à comprendre en profondeur et la quête d'une explication dès le départ peuvent certes constituer un frein à l'exploration de l'inconnu. Et c'est une scission entre exploration et explication qui a permis à la science de se développer comme elle l'a fait jusqu'à nos jours. Mais, comme le note Kaspar :

« Aussi audacieux soit-il d'explorer l'inconnu, il l'est plus encore de remettre le connu en question ».

Et pour être en mesure de remettre le connu en question, il faut développer l'esprit philosophique comme A. A. Cournot le définit:

« L'esprit philosophique est l'esprit qui s'attache, dans les sciences, dans l'histoire et partout, à pénétrer la raison des choses, à les mettre dans l'ordre le plus propre à montrer

comment elles procèdent rationnellement les unes des autres. Nous ne savons pas pour cela plus de choses mais nous le savons mieux... ».

C'est justement ce qui manque à une modernité qui nous écrase par une quantité colossale d'informations éparpillées et contradictoires. Et c'est une raison pour réhabiliter une pensée de type leibnizien, opposée à la modélisation en tant qu'horizon indépassable de la démarche scientifique.

Remarque finale : Thom, Grothendieck, Gödel et Whitehead restent avant tout des scientifiques, ils ne dénigrent pas la science qui les a nourris et ne se plaignent pas de tout ce que la science, tant mathématique que physique, a développé durant des siècles au travers d'outils formels si féconds : tout y est vrai, exact, structurellement et syntaxiquement irréprochable.

Ils restent cependant insatisfaits, parce que les analyses proposées ne vont pas au fond des choses, ne posent pas les questions de base et ne poussent pas le raisonnement jusqu'à ses derniers retranchements. Les commentaires évitent les questions philosophiques embarrassantes en cachant la poussière sous le tapis. En dépit de l'ingéniosité des modèles, de leur variété et encore une fois de la vérité des commentaires les concernant, une incoercible impression d'insécurité intellectuelle et d'irrationalité règnent encore. C'est précisément ce qui apparaît dans l'analyse des pensées scientifiques que nous avons proposées, qui les ont conduit plus ou moins loin, dans le sens de notre développement d'une approche intrinsèque de la dynamique englobant de multiples points de vue.

Remerciements : Je voudrais remercier Claude-Alain Risset et Stefan Neuwirth qui ont lu et corrigé ce travail. Les multiples discussions et remarques constructives de Claude-Alain Risset m'ont permis, d'une part, d'affiner ma critique du règne des modèles (surtout en physique), en tant qu'horizon indépassable de la démarche scientifique, et d'autre part, de construire une théorie qui les englobe en remontant à leur source, à la « Matrice Mère » qui les engendre.

Annexe A : La généralisation des variétés algébriques par Grothendieck

Après la construction des espaces réel et complexe, on s'est senti à l'étroit au début du 20^{ème} siècle. L'école allemande de mathématiques a alors développé la théorie des « sous-ensembles algébriques de dimension quelconque de l'espace affine K^n ».

On s'est encore senti à l'étroit dans cet espace à n dimensions K^n et c'est le début de l'histoire moderne de la géométrie algébrique. En 1946, André Weil définit la notion de « variété algébrique » qui remplace celle de « courbe » lorsque le corps de base est abstrait. [Une définition plus simple des variétés algébriques sera établie par Serre en 1955 dans un article fondateur intitulé « Faisceaux algébriques cohérents »].

Grothendieck, s'inspirant des idées de Serre, généralise la notion de variété algébrique à des ensembles encore plus « pauvres », comme les anneaux.. (Alors que, dans l'ensemble des réels, tout élément non nul possède un inverse pour la multiplication, ce n'est pas vrai pour les anneaux (dont l'exemple type est l'ensemble discret des entiers relatifs noté Z). La géométrie algébrique rejoint alors la théorie des nombres qui travaille justement sur le discret.

Grothendieck renouvelle le concept d'« espace topologique » en l'étendant à Z . Sur le corps des réels, cet « espace topologique » est intuitivement dense, c'est à-dire qu'il n'existe pas de trous entre deux réels quelconques, ce qui n'est pas le cas de l'ensemble Z rempli de trous. En munissant Z d'une topologie, il est amené à ce qu'il appelle la « cohomologie étale ».

Évoquant sa démarche, Grothendieck écrit à propos des théories cohomologiques :

« Contrairement à ce qui se passait en topologie ordinaire, on se trouve donc placé là devant une abondance déconcertante de théories cohomologiques différentes. On avait l'impression très nette qu'en un sens qui restait d'abord assez flou, toutes ces théories devaient "revenir au même", qu'elles "donnaient les mêmes résultats". C'est pour parvenir à exprimer cette intuition de "parenté" entre théories cohomologiques différentes, que j'ai dégagé la notion de "**motif**" associé à une variété algébrique ».

Annexe B : Esthétique et éthique

Contrairement à toute modélisation rationnelle, la théorisation (telle celle que nous avons construite en dynamique : N. Daher, « Objectivité, Rationalité et Relativité Scientifiques. Le cas de la Dynamique », dans *Annales Françaises des Microtechniques et de Chronométrie*, vol. 79, n°58, 2009, p. 78–95) n'est pas originairement esthétique – dirigée vers l'existence – mais éthique – dirigée vers l'essence. Il faut se méfier des concepts, à la base de la rationalité usuelle, fondés sur des critères esthétiques pour leur élégance et beauté, concepts qui enchantent en reproduisant la compulsion vers une existence individuelle et exclusive. Cette rationalité est partielle, inachevée et même inachevable dans le strict cadre ensorcelé de la modélisation. Avec son inachèvement, ce charme et cette séduction de la modélisation sont incapables de la débarrasser de l'irrationalité. Même le meilleur des modèles, avec la séduction et l'ensorcellement qui lui sont inhérentes, reste éthiquement condamnable, discriminatoire et responsable de l'extermination d'une multiplicité de points de vue au profit d'une seule et unique perspective.

On justifie, en général, cette unicité – cette individualité – par la nécessité d'un déterminisme requis pour avoir une science prédictive : c'est un argument fallacieux. Face à ces modélisations, par nature isolées et individuelles, il y a une possible théorisation relationnelle et

collective, conduisant à une science prédictive, indépendante de tout point de vue et permettant ultérieurement l'émergence d'une multiplicité illimitée de points de vue.

Le passage de l'individuel et exclusif au non-individuel et non-exclusif fournit au relationnel et à l'inclusif une dimension éthique, une réparation de la violence qui est faite par les différentes modélisations ensorceleuses, despotes criminelles exterminant une infinité potentielle de points de vue (*au bénéfice du seul adopté par toute modélisation*).

Le caractère autoritaire et despotique inhérent à toute modélisation (*despotisme de droit divin chez Descartes et Newton et despotisme éclairé par la raison chez Lagrange et Kant*) peut être dépassé par un changement radical des méthodes scientifiques usuelles (individuelles, indépendantes et exclusives) au profit d'une méthodologie relationnelle interdépendante et inclusive.

Le relationnel et l'inclusif (*réparant des dommages infligés par l'individuel au relationnel, et par l'exclusif à l'inclusif, inhérents à la modélisation, avec le dépassement des déductions formelles*) permettent de réparer la violence due à la fragmentation et aux coups de force abusifs imposés sans raison suffisante par les modélisations. Au lieu de se situer sur le terrain de l'esthétique, la nouvelle rationalité se fonde sur l'éthique de Leibniz (avec son principe de raison) exigeant, pour cette théorisation, le rejet immédiat des exclusions non justifiées et des entités individuelles imposées sans raison suffisante : ces entités prendront leur place à partir de l'architectonique générale qui refuse le choix *a priori* qui leur donne naissance dans la modélisation.

Alors que la modélisation consacre l'individuel en excluant les autres avec leur différence, la théorisation est dans une situation de non-violence fondamentale à l'égard de l'individu dans son rapport à ce qui lui est différent. *A l'échelle la plus fondamentale, l'individu n'existe pas en tant que tel : il tire son existence de ce qui l'entoure et de ce qui lui confère sa caractéristique individuelle. L'individu n'est pas mais il devient, il ne se donne pas a priori mais émerge, prenant naissance à partir d'un principe d'individuation, une « Matrice Mère » qui le génère en lui fournissant sa raison d'être.* La théorisation ne se contente donc pas du « comment » mais elle rend compte aussi du « pourquoi », elle n'a pas pour seul but l'exploration mais aussi l'explication. Elle est rendue possible par sa dimension éthique qui l'engage dans la prescription d'une logique inclusive associée à un cadre relationnel. Et c'est cette éthique fondée sur un rapport de non violence qui va rendre compte de l'esthétique, dans ses multiples manifestations ; *manifestations qui ne sont plus données a priori, individuellement et à chaque fois par un coup de force mais qui émergent d'une « Matrice Mère » qui les engendre collectivement, naturellement, harmonieusement et sans violence d'aucune sorte (empirique, formelle, conceptuelle...).*

Il convient de souligner que l'éthique ne s'oppose pas à l'esthétique comme le vrai s'oppose au faux, ni même comme le bleu au rouge, mais comme un tout se distingue de ses parties, un arbre de ses branches, comme un organisme vivant s'oppose à ses membres. L'éthique ne succombe pas, comme l'esthétique, à la hâte et à la facilité, elle ne s'écrase pas devant les difficultés, les contournant par l'intervention du beau qui n'a rien d'un principe, utilisant fards et maquillages, outils de séduction et de tromperie. La modélisation, en abolissant toute différence avec sa logique mensongère quant à la nécessité de l'individuel et de l'exclusif, interdit toute éthique relationnelle.

Le relationnel se nourrit de la différence et dans la différence, dans la confrontation entre des modalités d'existence, usuellement exclusives puisque posées individuellement et

indépendamment les unes des autres. A l'esthétique individuelle de la modélisation se substitue l'éthique relationnelle de la théorisation. Une telle éthique scientifique apparaît, avec la théorisation qui permet à la différence de s'imposer dans le corpus scientifique, dans un contexte de réparation, de non-violence fondamentale en face de toute individualité dans son rapport à ce qui est différent d'elle (*à l'opposé de la modélisation!*).

Si l'on s'en tient à la logique exclusive et solitaire des démarches de Newton, d'Einstein et de l'essentiel du monde scientifique, la méthode scientifique est l'ennemie d'une programmation de la différence : elle contribue à empêcher la différence de commencer en science, saturant et clôturant l'histoire de la pensée scientifique, l'empêchant ainsi de produire sa propre différence. Et c'est l'individuation, qu'elle soit principe (*tel en dynamique le principe de moindre action*) ou concept (*tel le concept de vitesse*) qui est responsable de cette impossibilité de production de la différence et du relationnel qui apparaissent au travers d'une procédure d'auto-organisation établissant des liens entre les divers points de vue individuels.

Lorsque cette science modélisatrice, formalisée individuellement, sature les esprits, au delà d'un massacre d'une multitude d'individus formels et abstraits, elle dessine un cadre concret touchant l'ensemble de la société, occupant une place essentielle dans la pensée générale, avec les dangers et les dérives qui en découlent.

Comme le note Adorno, le développement de la science moderne est d'ailleurs intimement lié à celui de l'individualisme au travers du capitalisme et de la bourgeoisie marchande : « *avec l'extension de l'économie bourgeoise marchande, le sombre horizon du mythe est illuminé par le soleil de la raison calculatrice, dont la lumière glacée fait lever la semence de la barbarie* ». Le scientisme positiviste – à partir de Kant – est fondé sur la « *violence d'une quantification déchaînée* » qui exclut toutes les qualités, les réduisant à des « *déterminations mesurables* ».

Divers philosophes ont critiqué les principes d'identité et d'individualité et la clôture à laquelle ils donnent lieu en associant l'identité à la mort et l'individualité à l'isolement et à l'exclusion, à l'anéantissement systématique du non-identique et du non-individuel débouchant sur une fermeture hermétique empêchant toute ouverture à l'altérité. Ce principe de fermeture et d'isolement de l'individu ne peut que mener à l'indifférence et à la froideur de nos sociétés modernes. Et cette indifférence et cette froideur de l'individualisme forcené, peut être une des causes des massacres et exterminations massifs qu'a connu le monde, en particulier au 20^{ème} siècle en se targuant de la vérité scientifique et du progrès du genre humain dans ses dimensions biologique (*la meilleure race*) et sociale (*la meilleure organisation sociale*).

La modélisation est nocive si elle est considérée comme une vérité ultime et indépassable. Alors que les épistémologues et les logiciens, éloignés du champ des applications cherchent le meilleur point de vue, les physiciens, au cœur de la pratique scientifique, multiplient les points de vue, chacun étant adapté à une situation spécifique. Dans un cas, c'est le dogmatisme qui guette, dans l'autre cas, c'est le relativisme qui risque d'induire le physicien en erreur, laissant croire en l'absence de toute unité rationnelle. Tout invite au dépassement de la modélisation, seul moyen d'éviter tant le dogmatisme que le relativisme.

Bibliographie:

Ouvrages collectifs :

« Perspective : Leibniz, Whitehead, Deleuze », Vrin, 2006.

« Quine, Whitehead et leurs contemporains », revue Noesis (2008).

« Logos et Théorie des catastrophes ». A partir de l'œuvre de René Thom. Colloque de Cerisy de 1982 sous la direction de Jean Petitot. Ed. Patino, Genève (1988).

René Thom

Stabilité structurelle et morphogenèse, Interéditions, Paris, 1972 ; 1977.

Modèles mathématiques de la morphogenèse, Collection 1018, Union Générale d'Éditions, Paris, 1974.

Paraboles et catastrophes, Flammarion, Paris, 1983.

Esquisse d'une sémiophysique : Physique aristotélicienne et théorie des catastrophes, Interéditions, Paris, 1989.

Apologie du logos, Hachette, Paris, 1990.

Prédire n'est pas expliquer, avec Émile Noël, Flammarion, Paris, 1993.

Alexandre Grothendieck

Pierre Cartier, « Un pays dont on ne connaîtrait que le nom (Grothendieck et les « motifs ») », Prépublications de l'IHÉS IHÉS//09/01

Lettre à l'Académie royale des sciences de Suède, A. Grothendieck (Le Monde, 4 mai 1988).

Grothendieck Circle, un site consacré à A. Grothendieck.

Alexandre Grothendieck, « Récoltes et semailles : Réflexions et témoignage sur un passé de mathématicien », 929 pages, consultable sur Internet.

Douroux, Philippe « Le trésor oublié du génie des maths », Libération, 2 juillet 2012.

Kurt Gödel

Jacques Bouveresse, « Utopie et réalité : Leibniz, Gödel et les possibilités de la logique mathématique », in *Essai V - Descartes, Leibniz, Kant*, Marseille, Agone (« Banc d'essais »), 2006, p. 141-165.

Pierre Cassou-Noguès, *Les Démons de Gödel. Logique et folie*, Seuil, 2007.

Hao Wang, *Gödel*, éditions Armand Colin, Paris, 1990.

Palle Yourgrau, *Einstein/Gödel. Quand deux génies refont le monde*, Dunod, 2005.

Alfred North Whitehead

Isabelle Stengers, « Penser avec Whitehead. Une libre et sauvage création de concepts », Paris, Seuil, 2002.

La fonction de la raison et autres essais, préf. Philippe Devaux, trad. P. Devaux, E. Griffin & N. Thyssen-Rutten, Paris, Payot, coll. « Bibliothèque scientifique », 1969, 226 p.

Modes de pensée, intr. G. Durand, trad. H. Vaillant, Paris, Vrin, coll. « Analyse et philosophie », 2004, 201 p.

Le concept de nature, préf. et trad. J. Douchement, Paris, Vrin, 1998, éd. poche 2006.

La science et le monde moderne, Paris, Éditions du Rocher, 1994, ainsi que Payot, 1930.

Procès et réalité, Paris, Gallimard, 1995.

Les principes de la connaissance naturelle, Traduction de Henri Vaillant relue par Sylviane Schwer, Louvain-la-Neuve, Éditions Chromatika, 2007.

Références relatives à la dynamique

P. Costabel, Leibniz et la dynamique en 1692, Paris, 1960, (seconde édition 1980).

J.M. Lévy-Leblond and J.P. Provost, Additivity, rapidity, relativity. Am. J. Phys. 47(12), Dec. 1979.

J.M. Lévy-Leblond, Speed(s) Am. J. Phys. 48(5), May (1980).

C. Comte, Was it possible for Leibnitz to discover relativity? Eur. J. Phys. 7 225-235 (1986).

J. Barbour, “Absolute or relative motion?” The discovery of dynamics. Vol 1, Cambridge university press (2001).

C. Comte, Langevin et la dynamique relativiste. In Epistémologiques, V 01.2, 1-2, EDP Sciences, Paris, (2002).

N. Daher, « Objectivité, Rationalité et Relativité Scientifiques. Le cas de la Dynamique », dans Annales Françaises des Microtechniques et de Chronométrie, vol. 79, n°58, 2009, pp 78–95.

N. Daher, « Perspectivisme Physique et Monadologique (du Fini à l’Infini) », IX International Leibniz Congress, « Nature and Subject » Hannover (Germany), September 26 to October 2, (2011).

N. Daher, « Approche Multi-Echelle de la Mécanique », Actes du 20^{ème} Congrès Français de Mécanique, Philippe Picart, David Chapelle et Marc Dahan (coord.). Presses universitaires de Franche-Comté, Université de Franche-Comté, 2012 pp.3997- 4002.

N. Daher, “Leibniz's Intrinsic Dynamics: from Principles to Theorems”, XVII International Congress on Mathematical Physics (ICMP12), Aalborg, Denmark (6-11 August 2012). [Presentation available on line: Contributed talks/posters ICPM12, session 12, 2nd E-poster].