

# Contribution au Séminaire « Epiphymaths » : 2024-2025

## Sur la rationalité et l'objectivité en physique

N. Daher

Institut FEMTO-ST, Université de Franche Comté, CNRS

### Préambule

**Remarques préliminaires :** Ce préambule rappelle les circonstances qui ont conduit à la métamorphose de la rationalité analytique de la physique, en une rationalité supra-analytique (appelée aussi architectonique) développée dans quatre articles [1-4], résumés plus loin (pages : 10-11). Dans cette approche, les divers points de vue analytiques, au lieu d'être postulés progressivement au cours de l'histoire scientifique, se trouvent désormais déduits conjointement d'un cadre « hors points de vue ». L'un des traits principaux de cette métamorphose est la mutation des principes physiques dits premiers (moindre action, puissances virtuelles et relativité dynamique) en de simples théorèmes. Quant aux notions de base (vitesse, célérité et rapidité), sur lesquelles reposent ces principes, reflétant chacun un point de vue, elles deviennent des entités émergentes, issues du cadre supra-analytique arborescent qui les génère et les ordonne en plaçant chaque entité (ou point de vue) sur la branche qui lui correspond au sein de l'arbre architectonique. On assiste ici à une transmutation semblable à la métamorphose de la chenille, rampant sur sa branche, en un papillon, déployant ses ailes pour passer d'une branche à l'autre et explorer ainsi l'arbre dans sa globalité.

***Enrichissement et perfectionnement :** De même que la démarche analytique s'est progressivement enrichie et rénovée par divers scientifiques, particulièrement des mathématiciens, grâce à des outils formels appropriés, j'ose espérer que cette démarche supra-analytique, présentée au laboratoire de mathématiques de Besançon (LMB) qui abrite le Séminaire « **Epiphymaths** », puisse être, à son tour, améliorée et perfectionnée. Toutes les remarques et les propositions susceptibles de faire avancer cette approche, tant sur le plan conceptuel que formel, seront les bienvenues.*

*Les quatre articles [1-4], sont synthétisés, simplifiés et rendus plus accessibles dans deux articles complémentaires, joints à ce document. Ces deux articles, intitulés : « **Remèdes aux insuffisances de la rationalité analytique** » et « **La démarche architectonique leibnizienne appliquée à la dynamique** » - dont un résumé étendu est donné plus loin (pages 6-10) - sont développés de façon progressive, en gardant, dans un premier temps, un contact direct avec ce qui est habituellement enseigné en physique.*

## **Les circonstances incitant à la métamorphose de la rationalité physique**

Pendant ma formation scientifique à l'école française de mathématiques et de mécanique théorique (Paris VI : Université de Pierre et Marie Curie), à partir du milieu des années soixante-dix du siècle dernier, et surtout lors de la préparation de ma thèse de troisième cycle, j'ai pris conscience de l'importance de raviver (parfois) certaines idées et conceptions scientifiques anciennes. En particulier, j'avais été sensibilisé à ce retour en arrière grâce à P. Germain et G. A. Maugin (mon directeur de thèses : de troisième cycle et d'état) qui avaient réhabilité le principe des puissances virtuelles de d'Alembert, avant de l'appliquer, avec leurs thésards dont je faisais partie, aux systèmes complexes de la physique des milieux déformables, avec microstructures et/ou interactions électro-magnéto-thermo-mécaniques. Ce principe, formulé à travers la géométrie moderne, constituait une amélioration et une extension - par affaiblissement des hypothèses - de la rationalité usuelle de la physique, fournie par le principe de moindre action, exprimé à travers le formalisme variationnel de Lagrange et Hamilton.

Plus tard, après avoir intégré le CNRS, en tant que chercheur au laboratoire de physique et métrologie des oscillateurs (LPMO) de Besançon, j'ai participé au Séminaire « Epiphymaths, ce qui m'a ouvert divers horizons dont un relatif à la rationalité scientifique, avec cette fois-ci un retour à Leibniz au lieu de d'Alembert. En effet, l'épistémologue et physicien C. Comte, qui a réhabilité la pensée de Leibniz en dynamique [5-7], avait présenté, au Séminaire, un article [6] intitulé : « Sur quels principes peut-on édifier une mécanique vraiment rationnelle ? ».

Cette supposée « vraie rationalité » - exprimant le principe de relativité dans un cadre purement dynamique et autonome, comme Leibniz l'avait soutenu des siècles plus tôt, et qu'on résume par le terme : « principe de relativité dynamique » - introduit, comme paramètre du mouvement, la notion de rapidité au lieu de celle, bien-connue, de vitesse. Cette notion qui débouche sur un nouveau point de vue avait été fondée, à l'époque moderne, sur un théorème issu de la théorie des groupes et utilisée par divers physiciens [8-10], mais seulement en tant que point de vue complémentaire à d'autres, sans nulle autre prétention.

L'article de C. Comte [6], publié l'année même où j'ai présenté ma thèse d'état (1987), sur le principe des puissances virtuelles m'a fortement interpellé. Il ne s'agissait plus d'améliorer la rationalité usuelle de la physique, ni même de considérer l'existence de différents points de vue rationnels complémentaires, mais d'accéder à une vraie rationalité scientifique !

J'étais d'abord surpris par l'expression : « mécanique vraiment rationnelle », ce qui suppose que les autres points de vue (variationnel, géométrique...) ne le seraient pas vraiment. J'étais ensuite étonné par le recours à Leibniz, certes, connu, en tant que philosophe et mathématicien, mais pour ce qui est de la physique, il est surtout présenté comme l'exemple même de ce qu'il ne faut pas faire dans ce domaine, en raison de son insistance sur l'importance de la métaphysique pour fonder la physique !

Pour me faire une idée claire de la démarche leibnizienne, j'ai été amené à revoir l'histoire de la dynamique, particulièrement celle pré-newtonienne (peu connue des physiciens). Je me suis donc instruit auprès des historiens et philosophes des sciences, en suivant les cours de Thierry Martin, à la faculté des lettres de Besançon et en participant à divers congrès sur l'histoire et la

philosophie des sciences. C'est ainsi que j'ai appris, en particulier, que Descartes, Huygens et Leibniz avaient préparé non seulement l'avènement de la mécanique de Newton mais aussi celles de d'Alembert et Lagrange pour ne citer que les premiers qui ont contribué à la rationalité scientifique telle qu'on la pratique jusqu'à nos jours. Pour plus d'information sur la mécanique pré-newtonienne, on peut se référer à la Note 1, donnée à la fin de ce préambule.

Cette immersion dans d'autres eaux que celles de l'océan scientifique, m'a permis, entre autres choses, de découvrir l'« *Essay de dynamique* » de Leibniz (1692) qui synthétise la dynamique de l'époque, séparant Galilée de Newton. Cet essai précède le « *Traité de dynamique* » de d'Alembert (1743) qui prépare l'avènement de la « *Mécanique analytique* » de Lagrange (1788), appelée aussi mécanique rationnelle.

Les rares scientifiques qui se sont penchés sur l'apport de Leibniz en physique, sont restés focalisés sur sa contribution à l'approche analytique qui s'est perpétuée jusqu'à nous, sans se soucier de sa démarche architectonique, avec son perspectivisme infini. Pourtant, une dizaine d'années après l'« *Essay de dynamique* », Leibniz réalise que la démarche analytique, initiée par Descartes et corrigée par Huygens, à laquelle il avait adhéré, était en deçà des exigences de son principe métaphysique de « *raison suffisante* » qui ouvre sur un « *perspectivisme infini* ». Il y avait donc une contradiction entre ce qu'il propose sur le plan métaphysique (ou conceptuel) et ce qu'il avait accompli sur le plan scientifique (ou physique). Et c'est ce désaccord entre ce qu'il dit et ce qu'il a fait jusqu'ici qui l'incite, vers la fin de sa vie, à affiner sa conception scientifique. Celle-ci devra remplacer l'idée d'une « *perspective centrale* », que Leibniz appelle « *monade dominante* » par celle de « *Lien substantial* », permettant de relier entre elles une infinité de perspectives. Et ce lien, requis par l'approche infiniment perspectiviste de Leibniz, va se traduire formellement par la « *raison* » d'une suite mathématique de fonctions, dont les itérations successives et sans fin, engendreront et ordonneront effectivement les innombrables perspectives, même si seul un nombre restreint se révèle singulier, remarquable et opérationnel, utile à la physique.

William Blake a retenu la leçon de Leibniz lorsqu'il note : « *Si les portes de la perception étaient nettoyées, chaque chose apparaîtrait à l'homme telle qu'elle est : infinie* ».

Apparaît avec ce perspectivisme infini une « complexité architectonique » explicitée dans la Note 2, donnée à la fin de ce préambule. Elle se distingue nettement de la « complexité analytique », évoquée ci-dessus à propos des systèmes complexes, avec ses interactions, diverses et variées, entre mécanique, thermodynamique, électricité, magnétisme ... La « complexité architectonique » se manifeste déjà au cœur même de l'état de repos et celui de mouvement qui vont désormais se multiplier à l'infini, pour donner naissance à une structure formelle infiniment arborescente. Cette « complexité architectonique » avec son infinité de perspectives est interne, contrairement à la « complexité analytique » externe, relative aux systèmes complexes de la physique des milieux déformables, rassemblant de multiples effets et phénomènes physiques qui interagissent entre eux.

Leibniz ne s'est donc pas arrêté à l'idée d'une dynamique autonome, celle-là même que retient C. Comte et développe avec succès, au travers du point de vue de la rapidité. Pour Leibniz, ce point de vue - comme d'ailleurs tout autre point de vue - correspond à une étape provisoire, devant être complétée, par une autre qui la métamorphose, en étant beaucoup plus exigeante, ouverte à un cadre de pensée « hors points de vue » et susceptible d'en engendrer conjointement une multitude. Et seul ce cadre supra-analytique (ou architectonique) mérite la dénomination de « mécanique vraiment rationnelle ».

Comme on l'a déjà noté au début de ce préambule, dans les remarques préliminaires, le passage des différentes approches analytiques, reflétant chacune une perspective particulière, à l'approche architectonique, avec ses multiples perspectives, peut être illustré par la métamorphose qui se produit lors du passage de l'état de chenille, se déplaçant sur la branche d'un arbre, à celui de papillon, capable aussi de voler d'une branche à l'autre avec la vue panoramique qui en découle et les multiples degrés de liberté qui s'ensuivent.

Si cela importe peu pour la pratique quotidienne de la physique, comme en témoigne le développement historique et progressif des différents points de vue, il n'en est pas de même lorsqu'on s'intéresse à la rationalité et objectivité scientifiques. Cependant pour savoir si ce cadre architectonique, fondé sur le principe métaphysique de raison suffisante, est légitime et recevable en science, il va falloir s'assurer non seulement de sa validité logique et mathématique mais aussi de sa compatibilité avec les principes de base de la physique (relativité et conservation). Et c'est précisément ce qu'on présente ci-dessous, dans le « **Résumé étendu** » (pages : 6-10) avec ses « **deux Annexes** » qui précisent certains aspects majeurs.

### **Remarques à propos des Annexes A et B**

*L'Annexe A (pages : 12-14) isole quelques aspects de la dynamique leibnizienne relatifs à son perspectivisme infini. On montre d'abord que le paramètre du mouvement qui apparaît dans la structure de la dynamique, correspond à un « paramètre interne » susceptible d'une infinité de déterminations, reflétant chacune un point de vue. On précise ensuite la procédure d'engendrement de ce perspectivisme infini, avant d'établir un lien étroit avec la conception métaphysico-scientifique de Leibniz intimement liée au problème métaphysique de l'Un et du multiple, ou encore du rapport de la diversité à l'unité qui la sous-tend.*

*Quant à l'Annexe B (pages : 15-19), elle fournit un exemple rare et inaccoutumé, relatif à la défense de la démarche de Leibniz, à une époque où le newtonianisme est en plein essor, adopté par l'ensemble des savants. Cette Annexe est consacrée à la conception scientifique d'Emilie du Châtelet qui après avoir adhéré à la conception de Descartes, adopte celle de Newton, incitée par Voltaire, avant d'en être insatisfaite. Et cela à cause des divers principes et hypothèses, justifiés par des raisons qu'elle juge insuffisantes d'où son ralliement au principe métaphysique de raison suffisante de Leibniz qu'elle place au cœur de sa démarche scientifique.*

**Note 1 :** Le retour aux origines de la science mécanique m'a permis de comprendre que, contrairement à ce qu'on apprend habituellement en physique, la période qui sépare Galilée de Newton est riche d'enseignement. En particulier, Newton a bénéficié de l'apport de Huygens (le maître de Leibniz en mécanique) qui, à son tour a bénéficié de la philosophie mécaniste de Descartes. Certes, pour les scientifiques, Descartes est connu pour avoir écrit un « roman de physique », n'ayant pas su développer une mécanique correcte, mais il est le premier à avoir insisté sur l'importance de combiner le principe de relativité, emprunté à Galilée, avec l'idée de conservation, qu'il attribue à l'immutabilité divine !

*Il faut dire qu'à l'époque, l'évocation de Dieu était courante, ne serait-ce que parce que le procès de Galilée était dans tous les esprits et les savants du 17<sup>ème</sup> siècle n'avaient pas envi d'attirer sur eux les foudres des autorités religieuses. Plus d'informations sont données, à propos de l'évocation de Dieu à cette époque, dans le paragraphe : « **Diversité et unité chez Leibniz** » de l'Annexe A.*

Huygens, avec son esprit pragmatique, corrige Descartes et montre que la combinaison (cartésienne) des idées de relativité et de conservation, était nécessaire pour avoir un problème dynamique bien-posé (celui du choc frontal élastique). Leibniz avait trouvé cela si remarquable qu'il a synthétisé l'apport de Huygens dans son « *Essay de dynamique* », en y ajoutant des clarifications et propositions issues de ses connaissances mathématiques, relatives au calcul infinitésimal, ainsi que des dénominations qui se sont perpétuées jusqu'à nous. C'est effectivement Leibniz qui donne le nom de « Dynamique » à la physique du mouvement ou encore de « Force vive », caractérisée par sa propriété de conservation, qu'il distingue nettement de la notion de « Force d'inertie », qui ne se conserve pas et qui se trouve à la base de la conception de Newton.

**Note 2 :** La « complexité architectonique » apparaît déjà au niveau de l'état de repos, conçu par Leibniz comme un mouvement infinitésimal. Ainsi, la différence entre l'état de repos et celui de mouvement n'est plus de nature comme chez Descartes, mais seulement de degré. A cette différence vient s'ajouter une autre qui va non seulement concerner la physique pré-newtonienne mais aussi et surtout celle qu'on pratique jusqu'à nos jours. En effet, avec le perspectivisme infini de Leibniz, l'état de repos caractérisé usuellement par un simple point mathématique (origine d'une courbe), se trouve désormais multiplié à l'infini, donnant lieu à un « point d'accumulation » (i.e. origine commune d'une infinité de courbes).

On notera cependant que parmi cette infinité de courbes, reflétant chacune une perspective particulière, seul un nombre fini et restreint se révèle harmonieux (possédant des propriétés remarquables, singulières et opérationnelles). En résumé, le passage de l'état de repos à celui de mouvement ne donne plus lieu à une simple courbe (ou perspective) mais à différentes courbes qui convergent vers un même point (origine) selon une tangente commune. Nous obtenons ainsi une structure arborescente semblable à l'« arbre du voyageur !

Pour saisir cette étrange et inhabituelle conception du repos et du mouvement, il faut être attentif à la place qu'occupe le paramètre du mouvement au sein de la dynamique. Mais comme cela n'est pas aisé à dire en quelques mots, on peut se référer à l'annexe A qui explicite le perspectivisme infini de Leibniz en le justifiant à partir de la structure même de la dynamique.

On se contente ici de rappeler que contrairement aux entités conservées dont le nombre est limité à deux pour pouvoir résoudre le problème dynamique du choc frontal élastique, à la base de la constitution de la science dynamique, le paramètre du mouvement admet une infinité de déterminations possibles. Cette infinité est illustrée métaphoriquement par Leibniz à travers le nombre illimité de projections qu'on peut avoir sur un objet quelconque même si seules quelques projections se révèlent particulièrement significatives. Certes, en physique, un seul paramètre bien-choisi suffit, mais Leibniz refuse de sacrifier cette infinité potentielle au profit d'une seule perspective qui, par ailleurs, ne peut être introduite qu'en évoquant une raison externe que Leibniz juge insuffisante, violant ainsi son principe métaphysique de raison suffisante. Et c'est pour satisfaire ce principe qu'on a été amené à remplacer les approches analytiques, avec leurs perspectives uniques, par l'approche architectonique avec son infinité de perspectives.

## Résumé étendu de deux articles complémentaires

« *Remèdes aux insuffisances de la rationalité analytique* »

et

« *La démarche architectonique leibnizienne appliquée à la dynamique* »

Le but de ce travail, composé de deux articles complémentaires, est de rendre accessible, à la majorité des scientifiques et philosophes des sciences, le contenu de quatre articles [1-4], relatifs à la dynamique (colonne vertébrale de la physique de par son lien direct aux principes de relativité et de conservation). Ces articles - consacrés au développement d'une meilleure rationalité et une plus grande objectivité scientifiques - sont résumés dans la Note produite à la fin du texte.

**Premier article :** On commence par rappeler la rationalité usuelle de la physique qui s'exprime à travers la formulation variationnelle de Lagrange et Hamilton, correspondant physiquement au principe de moindre action. Qualifiée de belle et élégante par Lagrange - son concepteur - cette formulation est, en effet, caractérisée par sa simplicité formelle et l'unité qu'elle apporte. En particulier, les entités conservées (ici l'énergie et l'impulsion) découlent directement du lagrangien, dont la dérivée par rapport à la vitesse définit l'impulsion. Son intégrale temporelle coïncide avec la notion de force, à la base de la conception newtonienne de la dynamique. Et c'est le désir de rendre plus rationnelle la conception newtonienne qui a donné naissance au formalisme lagrangien : simple à formuler, économique et autonome (sans recours à l'expérience).

Nous verrons cependant que cette économie de pensée et les raccourcis auxquels elle donne lieu posent quelques problèmes qui se révèlent impossibles à résoudre sans passer par un changement radical de méthodologie. En particulier, des contradictions apparaissent lors du passage du cadre dynamique d'Einstein à celui de Newton qui ne correspond plus à un cas limite de la dynamique einsteinienne. Ceci va à l'encontre de l'affirmation d'Einstein qui fait l'éloge de la physique newtonienne en ces termes : « *C'est le plus beau sort d'une théorie physique que d'ouvrir la voie à une théorie plus vaste dans laquelle elle continue à vivre comme cas limite* ».

Par conséquent, le lagrangien (unificateur) et plus généralement le formalisme de Lagrange et Hamilton - qualifiés de magiques par R. Penrose - méritent d'être approfondis et clarifiés. En particulier, comme le lagrangien a la dimension d'une énergie mais ne se conserve pas comme elle, on va s'en passer en opérant directement sur les entités conservées, essentielles à la physique. On cherchera donc à dériver cette même impulsion à partir de l'énergie (au lieu du lagrangien), ce qui va conduire à un cadre de pensée instructif et constructif, combinant directement les idées de relativité et de conservation : deux piliers de la science physique.

Apparaîtront alors des propriétés remarquables et de nouvelles notions, permettant de lever les contradictions et d'accéder à une conception consistante de la dynamique, capable de remonter à la source du formalisme variationnel de Lagrange et Hamilton, où les notions de lagrangien et hamiltonien se manifesteront sous un nouveau jour.

**Déroulement des opérations :** Nous révélerons d'abord les propriétés remarquables et singulières issues de la dérivation de l'impulsion à partir de l'énergie et des conséquences qui en découlent, avec la possibilité de lever les contradictions.

Nous montrerons ensuite que ces propriétés conduisent naturellement à une approche conceptuellement simple de la dynamique, associant directement l'idée de conservation à celle de relativité.

Nous verrons enfin que cela permet d'aller au-delà de la rationalité usuelle de la physique, en révélant l'origine du lagrangien et plus généralement du formalisme variationnel de Lagrange et Hamilton.

Pour des raisons didactiques, nous procéderons de façon progressive en remontant d'abord à la source du lagrangien, puis à celle de la formulation variationnelle de Lagrange et Hamilton.

**Quelques points clés :** Malgré sa simplicité conceptuelle, la nouvelle formulation conduit à une structure formelle plutôt compliquée et donc difficile à résoudre. Elle prend la forme d'une équation différentielle combinant deux groupes de termes : l'un du second-ordre, l'autre du premier ordre, dont l'intégration requiert des changements de variables pour pouvoir être intégrée par les méthodes élémentaires d'intégration. Et c'est à travers l'un de ces changements de variable qu'émerge la notion de lagrangien. Quant à l'obtention du formalisme de Lagrange et Hamilton, elle requiert deux changements de variables complémentaires (précisés plus loin).

***Diversité de points de vue :** D'autres changements de variables que ceux évoqués ci-dessus peuvent être effectués pour simplifier l'intégration et résoudre ainsi le problème de la dynamique, mais on perd alors le paramètre vitesse au profit d'autres paramétrages du mouvement, ce qui revient à changer de point de vue. On profite de cette occasion pour faire émerger les divers points de vue développés au cours de l'histoire scientifique. Ces autres points de vue seront détaillés dans les annexes afin de ne pas perdre le fil et d'éviter tout éparpillement dans le texte principal, consacré principalement à l'approfondissement et l'engendrement du formalisme variationnel de Lagrange et Hamilton. La considération d'autres changements de variables, établis dans les annexes, conduit à différentes sortes de simplifications, faisant intervenir des procédures de **gommage** et de **collage**, où l'on gomme un terme pour le coller à un autre, menant ainsi à des transformations substantielles, ayant chacune sa spécificité. Ces procédures seront dites **hétérogènes** ou **homogènes**, **totales** ou **partielles**, **pures** ou **mixtes** selon la simplification apportée et la forme recherchée.*

**Origine du lagrangien :** Pour la clarté du propos, on distinguera trois étapes à franchir pour faire apparaître le lagrangien, supposé, à tort, comme étant une notion fondamentale ! La **première étape** est conceptuellement simple : elle combine, de façon compacte, deux idées physiques de base (relativité et conservation), avec un sens précis et clair des concepts et opérateurs, révélés par la nouvelle méthodologie. Mais cette simplicité conceptuelle conduit à une certaine complexité formelle qui apparaît, dans une **deuxième étape**, lorsqu'on explicite cette conception, donnant lieu à une structure formelle qui correspond à un mélange inextricable de signes, de symboles et d'opérateurs de dérivations d'ordres différents, devant être clarifiés et simplifiés pour pouvoir être utilisés dans les applications pratiques. Intervient alors la **troisième étape** qui consiste à effectuer une simplification, par changement de variable, introduisant ainsi une nouvelle entité, rendant le problème formel facile à résoudre. Et c'est cette nouvelle entité qui correspond au lagrangien.

**Origine du formalisme de Lagrange et Hamilton** La même procédure va être étendue au formalisme de Lagrange et Hamilton où l'on aura besoin de deux changements de variables, conduisant à deux sortes de réductions simplificatrices, l'une faisant émerger le lagrangien, l'autre le hamiltonien. Cette double réduction va se faire grâce à un mécanisme (ou procédé) de **découpage** de l'équation différentielle initiale (plutôt compliquée) en deux parties : l'une du

second-ordre, l'autre du premier-ordre. Ces deux parties faciles à manier et à ordonner vont jouer chacune un rôle complémentaire à l'autre, avec un **partage** des tâches qui va permettre à la structure formelle de devenir facilement intégrable. Et c'est cette procédure de **découpage** et de **partage** qui va révéler la structure du formalisme variationnel de Lagrange et Hamilton.

***Remarque importante à propos d'une possible extension directe et naturelle :** Ce dédoublement structurel, particulièrement efficace pour la résolution du point de vue spatio-temporel particulier, avec la vitesse pour paramètre du mouvement, va se révéler directement extensible à d'autres points de vue et même à un cadre dynamique « hors points de vue ». Ceci permet d'établir une jonction naturelle entre le premier article et le second qui va le systématiser et le généraliser, en restant conforme aux exigences de base de la physique (relativité et conservation), obtenant ainsi une formulation faible qui évite les hypothèses superflues et non-nécessaires, encore présentes dans le premier article, à travers les divers points de vue analytiques, qu'on cherche justement à dépasser au profit d'un cadre « hors points de vue », en mesure d'engendrer les points de vue qui lui sont adaptés.*

En bref, dans le premier article, nous procédons du particulier au général, de façons continue et graduelle, gardant ainsi un contact direct avec le point de vue variationnel spatio-temporel (bien-connu), avant de chercher à résoudre les problèmes auxquels il donne lieu. Ceci permet de montrer qu'une réorganisation adéquate de ce point de vue conduit d'une part à découvrir la source des problèmes constatés avant de les résoudre, d'autre part à rendre possible l'extension de ce point de vue spatio-temporel, ouvrant la voie à un cadre de pensée « hors points de vue » et « hors espace-temps » (développé dans le second article). A cela s'ajoute, dans les annexes, un examen approfondi et une synthèse des différents points de vue adoptés historiquement sur la dynamique.

**Second article :** Nous bénéficierons ici des résultats remarquables obtenus dans le premier article, avec la synthèse qui en découle, faisant passer de la dimension analytique, avec ses différents points de vue (variationnel, géométrique, dynamique...), à la dimension architectonique « hors points de vue » et susceptible d'en engendrer une infinité. On abordera ainsi la dynamique, dans toute sa généralité, ce qui va permettre de remonter à la source commune des démarches analytiques, transformant ainsi les principes analytiques en de simples théorèmes supra-analytiques (dits aussi architectoniques).

En s'affranchissant de tout point de vue, on va au cœur de la dynamique, à ce qui est nécessaire pour avoir un cadre de pensée intrinsèque, récusant les hypothèses superflues et dont on peut se passer ; hypothèses révélatrices de nos propres choix subjectifs. On évitera donc d'imposer un quelconque point de vue en y restant silencieux, laissant ainsi la nature (ici la structure dynamique) parler d'elle-même au lieu de parler à sa place. Cela se traduit par l'adoption d'hypothèses faibles qui portent seulement sur l'existence d'une certaine loi (ou relation) sans plus d'information quant à sa forme quantitative. On applique donc le principe de relativité à une loi de composition générique et indéterminée, affaiblissant ainsi les hypothèses (trop fortes) relatives aux points de vue analytiques, correspondants chacun à une loi de composition spécifique et bien-déterminée. Cette forme faible débouche sur une structure formelle dont aucun point de vue n'est spécifié à l'avance, ouvrant ainsi la voie à la possibilité de déduire simultanément les divers points de vue au lieu de les imposer un à un, comme c'est usuellement le cas. Cette structure formelle dévoilera, par des procédures précisées plus loin, sa nature intrinsèque, « hors points de vue » ainsi que les points de vue (ou perspectives) qui lui sont appropriés. Et c'est cela qui caractérise la démarche supra-analytique (ou architectonique) qui transcende les méthodes analytiques et les explique en remontant à leur source commune.

Si le saut de l'analytique (avec son unique perspective) à l'architectonique (avec son perspectivisme infini) empêche l'obtention d'une structure formelle prédictive, puisqu'en refusant, au préalable, tout point de vue, on est conduit à un cadre formel sous-déterminé, le contenu de ce cadre, potentiellement infini, n'est pas quelconque pour autant : il possède une certaine structure formelle, certes, à ce stade, insuffisamment déterminée pour permettre une quelconque prédiction, mais qui inspire (ou suggère) la génération (ou spécification) de ses points de vue, jusqu'ici indéterminés, à travers une combinaison judicieuse de deux procédures : **filtrage** et **découplage**. Cette forme de « générativité mathématique » sera explicitée pour le monde dynamique d'Einstein, étudié jusqu'ici selon divers points de vue analytiques mais jamais selon l'approche supra-analytique (ou architectonique) « hors points de vue » et susceptible d'en engendrer une infinité.

**Déroulement des opérations de filtrage et découplage** : En considérant le cadre le plus général, compatible avec les propriétés de conservation combinées au principe de relativité, on obtient l'ensemble des mondes dynamiquement admissibles au sein duquel le monde dynamique d'Einstein va apparaître comme un cas doublement particulier. Ce résultat va s'obtenir en deux temps : on applique d'abord le principe de relativité dans toute sa généralité (i.e. au travers d'une loi de composition quelconque), ce qui conduit à une structure formelle sous-déterminée et extrinsèque, articulant les entités conservées au paramètre du mouvement ; paramètre, à ce stade indéterminé et porteur donc d'une infinité potentielle de points de vue qui restent à spécifier. Cette structure extrinsèque sous-déterminée sera soumise à une procédure de **filtrage** qui la transformera en une structure intrinsèque bien-déterminée, où la partie indéterminée associée au mouvement (dimension extrinsèque) sera éliminée au profit de ce qui lie les entités conservées (dimension extrinsèque). On obtient ainsi un lien direct entre les entités conservées, correspondant à l'ensemble des mondes dynamiquement admissibles, compatibles avec les principes de relativité et de conservation.

Parmi ces mondes, on se focalisera sur le monde d'Einstein, historiquement étudié à travers divers points de vue analytiques (variationnel, géométrique, dynamique...). Son étude supra-analytique (ou architectonique), susceptible d'engendrer les points de vue au lieu de les postuler, va reposer sur l'information intrinsèque, résultant de la procédure de **filtrage**. Celle-ci va jouer un rôle décisif quant à l'engendrement d'un ensemble infini de points de vue, dès lors qu'on la combine à une autre procédure, dite de **découplage**. Cette dernière découle de la structure sous-déterminée et extrinsèque qui s'avère être une structure couplée. Son **découplage** fournit un point de vue de référence sur lequel vont pouvoir se greffer, par auto-organisation, une infinité d'autres points de vue. Et parmi cette infinité, quatre points de vue harmonieux de base (singuliers, remarquables et opérationnels) se détachent dont les trois développés au cours de l'histoire scientifique, à travers les trois structures formelles, mathématiquement bien-identifiées : le calcul variationnel, la géométrie moderne et la théorie des groupes, avec pour paramètres du mouvement, les notions de vitesse, de célérité et de rapidité respectivement [5-12].

Mieux encore, on montre que la démarche architectonique permet non seulement de fournir les solutions associées aux trois points de vue analytiques, mais aussi de déduire leurs structures formelles, mentionnées ci-dessus, correspondants respectivement aux principes physiques de moindre action, des puissances virtuelles et de relativité dynamique.

Cette déduction des structures analytiques à partir de l'architectonique sera obtenue de deux manières différentes, les faisant apparaître pour la première, sur un même niveau, avec une

certaine horizontalité dans la démarche, et pour la seconde, sur deux niveaux différents, avec une certaine verticalité.

La démarche horizontale qui déduit les structures analytiques en les faisant apparaître sur un pied d'égalité va s'appuyer sur une procédure de **découpage** et **partage**, celle-là même déjà expliquée dans le premier article mais seulement dans le cadre particulier de la physique spatio-temporelle. Quant à la démarche verticale qui les fait apparaître, de façon hiérarchique, sur deux niveaux : l'un générique, l'autre spécifique, elle va s'appuyer sur deux procédures : une de **découplage** appliquée au niveau générique, et l'autre de **gommage** et **collage** appliquée au niveau spécifique.

On montre enfin que, contrairement au cadre spatio-temporel, avec ses deux formalismes : variationnel et géométrique, la démarche architectonique générale n'a nul besoin de postuler une quelconque métrique ou cinématique préalable : elle est purement dynamique. Ici, la cinématique n'est pas première, imposée a priori, comme en physique habituelle ; elle découle naturellement de la dynamique, comme on le montre dans la dernière section du second article : « *Déduction de la structure spatio-temporelle à partir de la dynamique* ».

### **Note : Résumés des quatre articles complémentaires [1-4]**

Le premier article développe les principes de relativité et de conservation dans un cadre de pensée architectonique – hors points de vue – et susceptible d'en engendrer une infinité. Au-delà des « mondes » de Newton et d'Einstein, ce cadre en déduit d'autres, dont ceux développés récemment en vue d'étendre le cadre relativiste d'Einstein (Doubly Special Relativity et Finsler Geometry). En particulier, le monde einsteinien, étudié à partir de différents points de vue analytiques, est revu et approfondi à la lumière du perspectivisme infini de Leibniz. Il est saisi selon une infinité de points de vue, dont quatre principaux (les autres étant des combinaisons plus ou moins compliquées de ces quatre points de vue de base). Parmi ces quatre solutions (associées chacune à un point de vue), on retrouve les trois développées au cours de l'histoire scientifique, fondées sur le calcul variationnel, la géométrie moderne et la théorie des groupes.

Le deuxième article prolonge le premier en montrant que la démarche architectonique permet d'obtenir non seulement les différentes solutions (mentionnées ci-dessus), mais aussi les structures formelles, utilisées habituellement pour obtenir ces solutions. Par conséquent ce qui a été introduit comme des principes physiques ayant des contreparties mathématiques (principe de moindre action pour le calcul variationnel, principe des puissances virtuelles pour l'approche géométrique...) n'est plus postulé. Ces « principes » analytiques – désormais déduits d'un cadre supra-analytique – deviennent des théorèmes architectoniques. Les trois points de vue usuels émergent de la nouvelle approche sur un pied d'égalité. Cela se produit lorsqu'on cherche à intégrer la structure différentielle architectonique qui se révèle compliquée, exigeant des changements de variables, pour la rendre intégrable par les méthodes élémentaires d'intégration.

Le troisième article montre que si l'on regarde de près la structure initiale « hors points de vue » (sous-déterminée), on s'aperçoit qu'elle correspond à une structure couplée dont le découplage fournit un point de vue particulier, identifiable à la version scalaire de la méthode géométrique. Celui-ci s'avère être suffisamment riche pour permettre de déduire naturellement les deux autres points de vue analytiques, usuellement fournis par la mobilisation du calcul variationnel et de la théorie des groupes, ce qui révèle une certaine hiérarchie entre les différents points de vue. En outre, on montre que la structure formelle issue de la procédure de découplage présente des propriétés remarquables permettant l'émergence de la métrique spatio-temporelle. Ainsi, la cinématique, avec ses notions d'espace et de temps, n'est plus postulée mais déduite de la dynamique.

Le quatrième article reprend les résultats des trois précédents articles développés à  $(1 + 1)$  dimensions et les généralisent à  $(1 + 3)$  dimensions, ce qui permet d'étendre sensiblement les possibilités relatives aux applications pratiques. On commence par généraliser la structure intrinsèque ainsi que les solutions relatives aux quatre points de vue harmonieux de base (singuliers, remarquables et opérationnels) qui en découlent. Ensuite on va au-delà des simples points de vue et solutions correspondantes pour considérer les structures formelles qui les engendrent et les ordonnent. On aborde enfin la structure architectonique dans sa globalité, avec sa multiplicité infinie de points de vue.

### Références

- [1] N. Daher, "Dynamics: Intrinsic and Relational Presentation", *Fundamental Journal of Modern Physics*, Volume 12, Issue 2, 2019, Pages 49-64.
- [2] N. Daher, "Dynamics: From analytical principles to architectonical theorems", *Fundamental Journal of Modern Physics*, Volume 13, Issue 1, 2020, Pages 1-10.
- [3] N. Daher, "Dynamics: From Architectonics to Geometry", *Fundamental Journal of Modern Physics*, Volume 13, Issue 1, 2020, Pages 35-48.
- [4] N. Daher, "Dynamics: Architectonics in  $(1+3)$  dimensions", *Fundamental Journal of Modern Physics*, Volume 14, Issue 1, 2020, Pages 1-21.
- [5] C. Comte, Was it possible for Leibnitz to discover relativity? *Eur. J. Phys.* **7** 225-235 (1986).
- [6] C. Comte, « Sur quels principes peut-on édifier une mécanique vraiment rationnelles ? » *Publications mathématiques et informatique de Rennes (1987-1988)* Issue: 2, page 67-105.
- [7] C. Comte, « Langevin et la dynamique relativiste ». In *Epistémologiques*, V 01.2, 1-2, EDP Sciences, Paris, (2002).
- [8] B.V. Landau and S. Sampanther, "A new derivation of the Lorentz transformation, *American Journal of Physics* **40**, 599-602 (1972).
- [9] J.M. Lévy-Leblond and J.P. Provost, Additivity, rapidity, relativity. *Am. J. Phys.* **47**(12),1979.
- [10] J.M. Lévy-Leblond, Speed(s) *Am. J. Phys.* **48**(5), May (1980).
- [11] C.A. Risset : L'appropriation du monde, *Bulletin de l'UDP*, oct. 2022.
- [12] L. Hirsinger, N. Daher, M. Devel and G. Lecoutre "Principle of virtual power (PVP): Application to complex media, extension to gauge and scale invariances, and fundamental aspects. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 H. Altenbach et al (eds.), "Generalized Models and Non-classical Approaches in Complex Materials 2", *Advanced structured Materials* **90**, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77504-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77504-3_2)
- [13] F. Nef, "Leibniz et le langage", *Philosophies* PUF 2000
- [14] Leibnitz, « La monadologie », Edition Emile Boutroux, Paris, Librairie Delagrave 1970
- [15] Emilie du Châtelet, « Institutions de physique », Paris, 1740
- [16] Naoum Daher : « Démarches non réductrices pour les sciences. Thom, Grothendieck, Gödel et Whitehead, héritiers de Leibniz », *Publications : « Epiphymaths »*.
- [17] S. Carvallo plus, "Leibniz", *Les Textes Essentiels*, Hachette 2001

## Annexe A

### Le perspectivisme infini de Leibniz en dynamique

**Remarque préliminaire :** Il s'agit ici d'isoler quelques aspects de la dynamique leibnizienne relatifs à son perspectivisme infini sans nulle autre prétention. La formulation globale et détaillée est donnée dans les différents articles.

Lorsqu'on examine la structure de la dynamique, on s'aperçoit que le paramètre du mouvement (la vitesse par exemple) correspond à un « paramètre interne » susceptible d'une infinité de déterminations, reflétant chacune un point de vue sur le monde dynamique. En effet, nous allons voir que le paramètre  $x$  (ou  $v$  pour la vitesse), attaché aux deux entités conservées que sont l'impulsion et l'énergie :  $p = g(x)$  et  $E = f(x)$  qui forment la base de la dynamique, peut prendre une multiplicité infinie de formes, sans nulle altération de la structure liant directement les entités qui se conservent :  $E$  et  $p$ .

**Démonstration :** Afin de montrer le caractère infiniment multiple de tout « paramètre interne », on commence par l'élimination de  $x$  entre les deux équations :  $p = g(x)$  et  $E = f(x)$ , ce qui conduit à une relation liant directement les deux entités conservées :  $E = H(p)$ , avec  $H = fg^{-1}$ ; relation qui exprime le monde de la dynamique, dans sa dimension intrinsèque. Ensuite, on introduit un nombre illimité de paramètres :  $x_\mu = s_\mu(x)$  dont l'inverse correspond à :  $x = s^\mu(x_\mu)$ , et donc :  $s^\mu s_\mu = I_d$  où l'indice  $\mu$  peut prendre une infinité de valeurs :  $\mu = (1, 2, 3 \dots)$ . En procédant ainsi, on aura une infinité d'expressions différentes de  $p$  et de  $E$ , mais cela ne va pas altérer la relation intrinsèque  $E = H(p)$ . En effet, un simple calcul montre que lorsqu'on remplace  $x$  par  $x_\mu$  dans les expressions de  $p$  et  $E$ , en utilisant les notations :  $f^\mu = fs^\mu$  et  $g_\mu = s_\mu g^{-1}$ , alors l'infinité de formes  $f^\mu g_\mu$  se trouvent identiques à la forme unique initiale  $fg^{-1} = H$  puisqu'on a alors :

$$f^\mu g_\mu = fs^\mu s_\mu g^{-1} = fI_d g^{-1} = fg^{-1} = H$$

A ce stade, on peut dire que la structure de la dynamique est compatible avec le perspectivisme infini de Leibniz. En revanche, une fois cette infinité de perspectives (ou points de vue) est dévoilée et déterminée, on s'aperçoit que seul un nombre fini et restreint de paramètres (ou points de vue) s'avère posséder des propriétés remarquables, singulières et opérationnelles. Mieux encore, on montre que cette approche leibnizienne se révèle non seulement logiquement concevable et mathématiquement réalisable mais aussi physiquement interprétable et mesurable.

Nous allons dévoiler dans ce qui suit, de façon succincte, la manière de déterminer l'infinité de points de vue. En effet, lorsqu'on combine les principes de relativité et de conservation sans spécifier un quelconque paramètre du mouvement, on obtient une structure formelle sous-déterminée et extrinsèque, compatible avec une infinité de degrés de liberté (les paramètres  $x_\mu$ ) dont aucun n'est, à ce stade, déterminé. Grâce à une procédure de filtrage qui élimine les paramètres  $x_\mu$ , on peut déduire de cette structure extrinsèque sous-déterminée, une forme intrinsèque bien-déterminée liant directement  $E$  à  $p$  :  $E = H(p)$ . Et cette information quantitative va contribuer à la détermination de l'infinité de paramètres  $x_\mu$  (ou points de vue); détermination obtenue, par auto-organisation, de façons simultanée, collective et relationnelle.

Ceci contraste violemment avec les approches analytiques qui fragmentent le monde de la dynamique en divers points de vue locaux et éparpillés, se privant ainsi de le voir en tant que tel, dans sa quintessence (sa dimension intrinsèque) et sa plénitude (sa dimension extrinsèque infiniment multiple). Seule l'approche architectonique rend possible une certaine forme d'harmonie supérieure que Leibniz décrit, dans sa théodicée, en ces termes : « *On peut proposer une suite, ou séries, de nombres tout à fait irrégulière en apparence, où les nombres croissent et diminuent variablement sans qu'il paraisse aucun ordre ; et cependant, celui qui saura la clef du chiffre, et qui entendra l'origine et la construction de cette suite de nombres, pourra donner une règle, laquelle... fera voir que la série est tout à fait régulière et qu'elle a même de belles propriétés* ».

Pour accorder cette citation avec la dynamique leibnizienne et son harmonie qui opère sur des fonctions et non sur de simples nombres, il suffit de remplacer : « suite de nombres » par « suite de fonctions. (Rappelons d'ailleurs que la notion de fonction est une invention de Leibniz, introduite lors du développement de son calcul infinitésimal.) Dans son application à la dynamique, cette harmonie relative au perspectivisme infini de Leibniz va se révéler à travers des doubles rapports (finis et infinitésimaux) précisés ci-dessous.

***Harmonie du perspectivisme infini de Leibniz :*** Si l'idée de rapport (fini :  $b/a$  et infinitésimal :  $dy/dx$ ) joue un rôle majeur en science analytique, avec son perspectivisme dispersé et fini, c'est celle de « rapport de rapport » (ou « double rapport »), qui se trouve à la base de la dimension architectonique, avec son perspectivisme unifié et infini. Et ce « rapport de rapport » va révéler un cadre harmonieux et illimité, traduit par une suite géométrique de raison  $r$ , soit :  $U_{\mu+1}/U_{\mu} = r$  où chaque  $U_{\mu}$ , va conduire à un point de vue particulier  $x_{\mu}$ , à travers un rapport infinitésimal de la forme :  $U_{\mu} = dC/dx_{\mu}$  où  $C$  correspond à une entité conservée pouvant indiquer, indifféremment, l'énergie  $E$  ou l'impulsion  $p$ .

En effet, d'après :  $U_{\mu+1}/U_{\mu} = [dC/dx_{\mu+1}]/[dC/dx_{\mu}] = dx_{\mu}/dx_{\mu+1}$ , on voit que  $C$  s'élimine au profit des paramètres du mouvement, engendrant ainsi une infinité des points de vue, déduits par des itérations successives et sans fin, ce qui transcende les démarches analytiques individuelles, limitées chacune à un point de vue, imposé à l'avance.

Ces considérations leibniziennes vont réaliser l'Unité dans la multiplicité, qui va s'incarner géométriquement dans une structure infiniment arborescente, chaque branche correspondant à un point de vue, où apparaissent ceux développés successivement au cours de l'histoire scientifique.

Rappelons que Leibniz s'oppose à la physique issue de la philosophie mécaniste avec son espace vide et infini, illustré par l'image d'une pièce vidée de ses objets et dont les parois sont projetées à l'infini, puis, son point matériel, illustré par l'image d'un objet quelconque dont les dimensions sont réduites à néant. Cette conception suggérée par notre seule faculté visuelle est pour Leibniz trop anthropomorphique pour constituer un fondement objectif et rationnel de la science physique. Elle viole son principe métaphysique de raison suffisante. Leibniz est en quête de quelque chose de plus consistant qui, comme le note F. Nef [13] : « *parle à l'entendement plutôt qu'aux yeux* ». Et c'est en s'insurgeant contre les raisons insuffisantes qu'il est conduit à sa démarche architectonique, avec son perspectivisme infini.

La doxa habituelle, affirme que la philosophie et la métaphysique s'en tiennent au plan de la seule explication et la science (physique, mathématique...) s'en tient à l'exploration : « *Le philosophe dit ce qu'il convient de faire, laissant les autres s'engager dans l'action elle-même* »

ou « *Le « pourquoi » est du ressort de la philosophie, seuls le « comment » et le « combien » relèvent de la science* ». Leibniz s'y oppose en combinant des principes métaphysiques (raison suffisante et plénitude ontologique) avec des principes scientifiques (relativité et conservation).

L'architectonique unit métaphysique et science en mobilisant d'une part les principes métaphysiques de raison suffisante (dit aussi principe du « pourquoi ») et de plénitude ontologique, d'autre part, les principes physiques de relativité et de conservation. Ainsi l'approche leibnizienne montre, comme la philosophie, ce qu'il convient de faire avant de s'engager, comme la science, dans l'action, et le fait effectivement.

### **Diversité et unité chez Leibniz**

Selon Leibniz, le monde n'est pas que diversité locale et éparpillée, comme le présente le perspectivisme analytique : il est aussi et surtout harmonie globale et unifiée. Comme le rappelle E. Boutroux [14] : « *Le monde est une diversité et une harmonie. Pour le voir tel qu'il est, il faut à la fois en discerner les détails et en saisir l'unité* ». Cette unité harmonique manque aux approches analytiques qui se contentent de rendre compte d'un point de vue à la fois, avec ses détails. Pour y accéder, Leibniz est en quête de la source à partir de laquelle s'ordonne l'ensemble infini des points de vue.

Alors que l'architectonique est à la recherche d'une double connaissance : diversité et unité, l'analytique se contente de la seule diversité. C'est ainsi que Boutroux [14] poursuit : « *Pour obtenir cette double connaissance, il faut réussir à se placer au point de vue suprême, à un point de vue aussi voisin que possible du point de vue de Dieu lui-même. La monadologie détermine ce point de vue, et nous donne une esquisse du monde tel qu'il apparaît à l'observateur qui s'y trouve placé* ».

**Remarque :** Pour éviter toute confusion, notons qu'il s'agit ici du concept de « Dieu des philosophes » et/ou scientifiques, apte à la preuve et la démonstration et non de celui de « Dieu des théologiens » et/ou des croyants, relevant de la foi et la révélation. Selon Leibniz, pour éviter les discours creux et sans fin sur le concept de Dieu, il faut d'abord s'entendre sur un certain nombre de critères et de propriétés caractéristiques, relatives à la divinité, ensuite, on calcule pour affirmer ou infirmer leur existence, assurant ainsi une conclusion fiable et convaincante, sans nulle contradiction. Et c'est ce qu'il veut dire lorsqu'il affirme : « *Pour savoir si Dieu existe ou non : calculons* ».

Ce qui renvoie au divin en dynamique leibnizienne, c'est le dépassement des points de vue individuels, isolés et indépendants, imposés a priori, dans les démarches analytiques, au profit d'un cadre architectonique, susceptible de les engendrer et de les exprimer de la manière la plus ordonnée qui soit. Et cet ordre, infiniment multiple, est fourni par la « raison » d'une suite mathématique qui relève, selon Leibniz, du divin. Cette raison révèle, en effet, des caractéristiques usuellement attribuées à Dieu : présent partout, mais visible nulle part. Cette raison est présente partout puisque c'est elle qui engendre l'ensemble des points de vue et en même temps visible nulle part, puisqu'elle ne s'incarne dans aucun des points de vue. Elle détermine l'ensemble infini des éléments sans s'identifier à l'un ou l'autre des éléments de cet ensemble. C'est ainsi que dans les « *Principes de la nature et de la grâce* », Leibniz écrit : « *cette raison ... ne se saurait trouver dans la suite des choses contingentes* » ... « *il faut que la raison... soit hors de cette suite des choses contingentes* » avant d'ajouter : « *Et cette dernière raison des choses est appelée Dieu* ».

## Annexe B

### Evolution de la conception scientifique d'Emilie du Châtelet

Emilie du Châtelet est demeurée dans les livres d'histoire comme étant la muse de Voltaire. Dans l'histoire de la physique, elle est connue pour avoir traduit l'œuvre de Newton : « *les principes mathématiques de la philosophie naturelle* » et pris position, en faveur de Leibniz, à propos de la « *querelle des forces vives* ». Cette querelle a d'ailleurs fini par être considérée, à tort, comme une querelle de mots, par divers scientifiques influents dont d'Alembert, le père du principe des travaux virtuels qui a préparé le terrain au développement de la mécanique analytique de Lagrange, à la base de la rationalité usuelle de la science physique.

Au-delà de son statut de femme qui, à cette époque, n'incitait pas à prendre Madame du Châtelet au sérieux, les diverses études consacrées à sa conception scientifique apparaissent, aux yeux de ceux concernés par la science physique, comme appartenant à un passé dépassé. Mais nous allons voir qu'il n'en est rien : si effectivement la synthèse qu'elle effectue dans la dernière décennie de sa vie, n'a pas été reconnue comme pertinente pour le développement de la science physique, les avancées récentes en vue d'une meilleure rationalité et objectivité scientifiques vont montrer le contraire et lui donner raison.

On va distinguer trois étapes quant à l'évolution de la pensée d'Emilie du Châtelet. Après avoir adhéré à la conception de Descartes (en vogue en France) elle se rallie à celle de Newton (en vogue au royaume uni), incitée par Voltaire, avant d'en être insatisfaite. Sa critique repose sur l'idée que certains de leurs principes sont formés à partir d'hypothèses provisoires appelés à être déduites au lieu d'être postulées. Et cela grâce aux principes métaphysiques de Leibniz, celui de raison suffisante étant un exemple emblématique. Ce principe qui ambitionne d'aller au fond des choses, en quête de leur raison d'être, et prémunir ainsi de différentes erreurs, n'a cessé d'être mal utilisé, jusqu'à nos jours, lorsqu'il n'est pas caricaturé et raillé, soulignant l'absurdité de vouloir aller au fond de choses qui n'auraient pas de fond !

Si Emilie du Châtelet rend hommage à Descartes pour avoir clarifié ce que devrait être un principe, elle le critique aussi pour en avoir abusé : « ... *les Scholastiques qui ne démontreraient rien donnaient pour principe des mots inintelligibles. Descartes qui sentit combien cette manière de raisonner éloignait les hommes du vrai, commença par établir qu'on ne doit raisonner que sur des idées claires ; mais il poussa trop loin ce principe : car il admit que l'on pouvait s'en rapporter à un certain sentiment vif et interne de clarté et d'évidence pour fonder nos raisonnements* » écrit-elle.

Puis elle enchaîne en défendant le principe de raison suffisante de Leibniz : « *Monsieur de Leibniz qui était très attentif aux sources de nos raisonnements, saisit ce principe, le développa et fut le premier qui l'énonça distinctement et qui l'introduisit dans les sciences* », avant de conclure : « ... *la plupart des faux raisonnements n'ont d'autres sources que l'oubli de la raison suffisante...* », en précisant que ce principe est le seul fil conducteur susceptible de nous prémunir de multiples erreurs.

**Quelques remarques :** Les citations d'Emilie du Châtelet données ci-dessus sont tirées du premier chapitre de son livre, destiné à l'éducation de son jeune fils, intitulé : « *Institutions de physique* », écrit en 1740 [15], alors que celles qui vont suivre se trouvent dans l'avant propos à partir duquel on a sélectionné principalement les aspects scientifiques qui nous concernent ici. Les aspects généraux, laissés de côté provisoirement, ne relevant pas directement de la

science, méritent eux-aussi d'être évoqués, examinés et discutés. Ce sera fait dans un travail ultérieur, complétant cette annexe qui donne déjà un aperçu de la pertinence de la pensée d'Emilie du Châtelet.

Malgré l'insistance de Madame du Châtelet sur l'importance du principe métaphysique de raison suffisante, à la base de la démarche architectonique de Leibniz, censée dépasser et expliquer les démarches analytiques usuelles (Descartes, Huygens, Newton...), estimées provisoires, cela ne pouvait pas être entendu par la science en cours qui, durant des siècles n'a cessé de développer de telles démarches avec succès pour l'exploration scientifique. Mais comme l'exploration (révélatrice du « comment » et du « combien ») est une chose alors que l'explication (révélatrice du « pourquoi ») en est une autre, il a fallu attendre ces dernières décennies pour qu'enfin une alliance soit scellée entre exploration et explication. Et cette alliance a requis justement la mobilisation du principe de raison suffisante, appelé parfois le principe du « pourquoi ». Cette quête du « pourquoi », à travers le principe de raison suffisante, qui va intéresser Madame du Châtelet, au plus haut point, renvoie au débat opposant Leibniz à Descartes qui affirme que le « pourquoi » n'est pas du ressort de la méthode scientifique, uniquement de la pensée philosophique. Et cette position s'est perpétuée jusqu'à nous comme en témoigne l'affirmation de Heidegger : « *La science ne pense pas* ». Elle n'a pas pour vocation d'expliquer, selon lui, seulement d'explorer.

Au regard de la science physique, le principe de raison suffisante, défendu par Emilie du Châtelet, interdit au principe physique de relativité d'être abordé selon des points de vue spécifiques, imposés a priori, comme c'est usuellement le cas. Certes, ces impositions correspondent à des hypothèses utiles, mais elles sont non-nécessaires, comme cela a été prouvé récemment. Elles font donc partie de ces hypothèses provisoires, certes, justifiées mais par des raisons insuffisantes.

Cette avancée proprement scientifique donne une autre dimension aux divers écrits, exposant et analysant le contenu de l'œuvre de Madame du Châtelet qui, contre vents et marées a défendu et synthétisé la démarche physique de Leibniz, au lieu de la dénigrer et de s'en détourner comme l'ont fait la majorité des scientifiques de son époque et de la nôtre d'ailleurs, à l'exception de quelques logiciens et mathématiciens comme Gödel, Grothendieck, Thom ou encore Whitehead [16].

Afin d'étayer les propos tenus par Madame du Châtelet nous allons procéder de façons progressive et graduelle en rappelant ce qu'elle a écrit concernant le bannissement des hypothèses, puis de leurs avantages et enfin leurs inconvénients. Et c'est ce qui va l'inciter à défendre la métaphysique de Leibniz, destinée à être mathématisée et incarnée au sein de la physique.

Madame du Châtelet commence par affirmer l'intérêt de faire des hypothèses en écrivant : « *Un des torts de quelques philosophes de ce temps, c'est de vouloir bannir les Hypothèses de la physique ; elles y sont aussi nécessaires que les Echafauds dans une maison que l'on bâtit ; il est vrai que lorsque le Bâtiment est achevé ; les Echafauds deviennent inutiles, mais on n'aurait pu l'élever sans leur secours* ».

Mais elle ne s'en contente pas puisqu'un peu plus loin, elle va à l'assaut de ces mêmes hypothèses, qui deviennent du poison lorsqu'elles sont considérées comme des vérités, surtout les hypothèses vraisemblables (ingénieuses et hardies) qui seraient plus dangereuses que les hypothèses maladroites et risibles, faciles à démasquer. C'est ainsi qu'elle poursuit : « ... *les*

*Hypothèses deviennent le poison de la philosophie quand on les veut faire passer pour la vérité, et peut-être même sont-elles plus dangereuses alors que le jargon inintelligible de l'Ecole ; car ce jargon étant vide de sens, il ne fallait qu'un peu d'attention à un esprit droit pour en apercevoir le ridicule, et pour chercher ailleurs la vérité ; mais une hypothèse ingénieuse et hardie, qui a d'abord quelque vraisemblance, intéresse l'orgueil humain à la croire, l'esprit s'applaudit d'avoir trouvé ces principes subtils, et se sert ensuite de toute sa sagacité pour les défendre. La plupart des grands hommes qui ont fait des systèmes nous en fournissent des Exemples, ce sont de grands vaisseaux emportés par des courants, ils font les plus belles manœuvres du monde, mais le courant les entraîne ».*

Madame du Châtelet effectue ainsi une critique radicale des différents systèmes (philosophiques et scientifiques) bien agencés et qui ont un parfum de vérité, cachant un dogmatisme qui a honte de s'avouer comme tel. Aussi, elle n'hésite pas à critiquer, en science, ceux qui se cachent derrière des formules mathématiques savantes, pouvant dissimuler une déficience conceptuelle.

La lucidité de Madame du Châtelet apparaît ici dans toute sa splendeur : elle met le doigt sur les hommes, malins et astucieux sachant manier le verbe et énoncer de belles formules savantes, attirant à eux l'acquiescement général de leur communauté. Sa comparaison à des vaisseaux capables des plus belles manœuvres mais que le courant entraîne est tout à fait adaptée à certains enseignements de la science physique, où le courant exclusivement analytique, limité à une perspective à la fois, a régné en maître incontesté - seul et sans partage - durant des siècles entraînant dans son sillon les plus grands physiciens, persuadés que la démarche architectonique de Leibniz, avec son perspectivisme infini, était chimérique et illusoire ; démarche purement métaphysique, selon eux sans nul contrepartie scientifique.

C'est ainsi que l'approche leibnizienne du monde sensible a été raillée, oubliée et même souillée, considérée comme l'exemple type de ce qu'il ne faut pas faire en physique. Madame du Châtelet en connaît quelque chose à ce propos ayant vécu en compagnie de Voltaire, qui s'était moqué du « meilleur des mondes possibles » de Leibniz qu'il dénigre et déforme en lui préférant le monde de Newton qu'il place sur un piédestal. Il sacrifie ainsi la rigueur scientifique, qu'impose le principe de raison suffisante, au profit d'une certaine vigueur stylistique, cherchant à avoir de l'esprit au lieu d'avoir raison.

Tout cela a incité Madame du Châtelet à sensibiliser son fils de treize ans au danger de la facilité et de la plaisanterie déplacée : « *Je n'ai point songé dans cet Ouvrage à avoir de l'esprit, mais à avoir raison, écrit-elle ... Je me suis contentée d'écarter les épines qui auraient pu blesser vos moins délicates, mais je n'ai point crû devoir substituer des fleurs étrangères, et je suis persuadé qu'un bon esprit, quelque faible qu'il soit encore, trouve plus de plaisir et un plaisir plus satisfaisant dans un raisonnement clair et précis qu'il saisit aisément, que dans une plaisanterie déplacée ».*

Elle poursuit en critiquant « l'esprit de parti » auquel elle joint son mésestime de « l'idolâtrie » comme elle l'écrit à son jeune fils : « *Si j'ai cru devoir vous précautionner contre l'esprit de parti, je crois encore plus nécessaire de vous recommander de ne point porter le respect pour les plus grands hommes jusqu'à l'idolâtrie comme font la plupart de leurs disciples ; chaque philosophe a vu quelque chose, et aucun n'a tout vu ; il n'y a point de si mauvais livre où il n'y ait quelque chose à apprendre ».* On retrouve là une idée typique de Leibniz, lorsqu'il affirme ne rien négliger et trouver même des perles dans la boue scolastique.

Madame du Châtelet met aussi l'accent sur l'importance de travailler sur les fondements de la physique : « *La Physique est un Bâtiment immense, qui surpasse les forces d'un seul homme ... nous devons tous travailler sur les fondements solides qu'on a donné à cet Edifice dans le dernier siècle ...* » écrit-elle.

A propos du principe métaphysique de raison suffisante de Leibniz, elle note : « *Les idées de M. de Leibnits sur la métaphysique, sont encore peu connus en France mais elles méritent assurément de l'être : malgré les découvertes de ce grand homme, il y a sans doute encore bien des choses obscures dans la métaphysique ; mais il me semble qu'il nous a fourni dans le principe de la raison suffisante, une boussole capable de nous conduire dans les sables mouvants de cette science* ».

Après ces considérations sur la nécessité de fonder la physique sur des bases solides, en ayant recours aux principes métaphysiques de Leibniz [17], elle va chercher à consolider la métaphysique qu'elle appelle de ses vœux, en souhaitant sa formalisation à l'instar des mathématiques tout en reconnaissant la difficulté de la tâche et l'exigence requise pour l'accomplissement de ce projet ambitieux. Elle rejoint par là l'idée de Leibniz qui n'a cessé de rappeler que sa métaphysique est mathématique et que ses mathématiques sont destinées à s'incarner au sein de la physique. Apparaît alors, dans toute sa clarté, la proximité de sa conception avec celle de Leibniz, qu'elle place au sommet de ce qui peut se faire de rationnel et d'objectif en physique.

Quant à ceux qui dénigrent la métaphysique, elles les qualifient de paresseux qui baissent les bras à la moindre difficulté prétextant que « *parce que l'on ne sait pas tout, on ne peut rien savoir* » selon ses propres termes. Ils refusent de prendre des risques et d'aller en quête d'un savoir authentique, pour rendre connu ce qui est encore inconnu.

C'est ainsi qu'après avoir défendu la métaphysique de Leibniz, malgré l'obscurité de certains points qui restent à clarifier, elle ajoute : « *Les obscurités ... servent de prétexte à la paresse de la plupart des hommes pour ne la point étudier, ils se persuadent que parce que l'on ne sait pas tout, on ne peut rien savoir ; cependant il y a des points de Métaphysique susceptibles de démonstrations aussi rigoureuses que les démonstrations géométriques, quoiqu'elles soient d'un autre genre : il nous manque un calcul pour la métaphysique pareil à celui que l'on a trouvé pour la Géométrie, par le moyen duquel, avec l'aide de quelques données, on parvient à connaître des inconnues ; peut être quelque génie trouvera-t-il un jour ce calcul. Monsieur de Leibnits y a beaucoup pensé, il avait sur cela des idées, qu'il n'a jamais par malheur communiqué à personne...* ». Elle conclut enfin par ces mots : « *Plusieurs vérités de Physique, de Métaphysique et de Géométrie sont évidemment liées entre elles. La Métaphysique et le faite de l'Edifice ; mais ce faite est si élevé, que la vue en devient un peu confuse. J'ai donc cru devoir commencer par le rapprocher de votre vue, afin qu'aucun nuage n'obscurcisse votre esprit...* ».

On voit là l'audace de Madame du Châtelet qui adhère à la conception métaphysique exigeante de Leibniz, persuadée qu'un jour le cadre métaphysique pourra être formalisé de manière à pouvoir être susceptible de preuves et démonstrations, à l'instar du cadre mathématique, sans pour autant fusionner ces deux cadres qui, comme elle le note, sont de genres différents. La synthèse que propose Emilie du Châtelet, avec ce lien qu'elle établit entre métaphysique, mathématique et physique se révèle d'un grand intérêt pour la science actuelle, surtout depuis la formalisation récente de la conception métaphysico-scientifique de Leibniz, avec son perspectivisme infini, appliqué à la science physique.

Bref, l'attitude adoptée par Madame du Châtelet, en faveur du principe de raison suffisante - qui prémunit des erreurs commises par la prétendue clarté et évidence des principes analytiques, mis en œuvre par Descartes, Newton et leurs successeurs - est celle-là même pour laquelle nous avons opté en vue de l'amélioration de la rationalité scientifique usuelle. Cette dernière est fondée justement sur des principes provisoires appelés à devenir des théorèmes en étant désormais déduits au lieu d'être imposés a priori, sans raison suffisante. On suit, à cet égard, le chemin emprunté par Leibniz, rappelé par Benoit Hufschmitt dans l'ouvrage collectif : *La paix / Leibniz, Philosophique* (1995) : « ... *les principes d'une science sont des théorèmes d'une science plus fondamentale* ».

Et c'est précisément ce qui a été développé, récemment preuves (logique, mathématique et physique) à l'appui, montrant que le principe fondamental de la dynamique ainsi que ceux des puissances virtuelles, de moindre action ou encore de relativité dynamique, révélés progressivement au cours de l'histoire scientifique n'en sont pas vraiment : ce ne sont, en réalité, que de simples théorèmes déduits d'un principe supra-analytique qui les engendre et les explique en remontant à leur source commune. Emilie du Châtelet avait donc parfaitement raison de semer le doute sur la véracité des principes et hypothèses sous-jacentes, développés par Descartes, Huygens et Newton puis d'Alembert, Lagrange et Hamilton, avant d'être adoptés, augmentés, diversifiés et améliorés par la communauté scientifique.