Fondements de la physique
Objectivité par trans-subjectivité et intersubjectivité

N. Daher

Institut FEMTO-ST, Université de Franche Comté, CNRS

Introduction

La rationalité de la dynamique (colonne vertébrale de la physique de par son lien aux principes de relativité et de conservation) est de type analytique, limitée à un point de vue dont on ne se détache que pour s'attacher à un autre, plus performant ou simplement plus adapté à certaines applications. C'est ainsi qu'est né progressivement le perspectivisme de la science physique, avec l'apparition successive de différents paramétrages du mouvement, à travers divers concepts (vitesse, célérité, rapidité…) associés à des principes physiques (moindre action, puissances virtuelles, relativité dynamique…), exprimés à travers des formalismes analytiques (calcul variationnel, géométrie moderne, théorie des groupes…), reflétant chacun un point de vue. Ceux-ci tirent leur rationalité des avancées mathématiques et relèvent de ce qu'on appelle la « physique-mathématique », ayant pour principal but de rendre formellement irréprochables les approches antérieures tant expérimentales que théoriques.

Le fait d'adopter un point de vue révèle qu'en science l'idée d'objectivité ne s'accorde pas avec ce qu'on entend habituellement par ce terme, où l'on est censé faire abstraction de tout choix non nécessaire effectué par le sujet. Précisément, l'objectivité scientifique s'avère être une *« subjectivité objectivée par l'expérience »*. Nous allons montrer que, contrairement à ce qui s'est fait jusqu'ici à travers la démarche scientifique (de type analytique), la subjectivité, due à l'introduction, par le sujet, d'un certain point de vue (caractère extrinsèque), peut être dépassée au profit d'une objectivité issue d'un cadre de pensée supra-analytique « hors points de vue » (caractère intrinsèque), susceptible d'en engendrer une infinité. Parmi cette infinité de points de vue, déduite simultanément par une procédure d'auto-organisation, seul un nombre restreint présente des propriétés remarquables, singulières et opérationnelles, utiles à l'exploration physique où l'on retrouve les points de vue analytiques développés progressivement (parfois à des siècles d'intervalle) au cours de l'histoire scientifique.

Apparaît alors une objectivité par trans-subjectivité puis par intersubjectivité qui ne sont pas à la portée de la démarche analytique quelle qu'en soit la version (variationnelle, géométrique, dynamique…). La trans-subjectivité découle du cadre intrinsèque - indépendant de tout point de vue - et l'intersubjectivité émerge au sein du cadre extrinsèque infiniment multiple - où les innombrables points de vue s'auto-organisent de façons relationnelle, collective et interdépendante, à travers une relation de récurrence, régie par la « raison » d'une suite de fonctions, reflétant chacune un point de vue.

Nous rappelons les différents points de vue analytiques (subjectifs), développés au cours de l'histoire scientifique, à propos de la dynamique d'Einstein, avant de montrer comment les dépasser, les expliquer et remonter à leur source commune. Ce dépassement va s'accomplir à travers le développement d'un cadre supra-analytique, explicité dans divers articles (scientifiques et pédagogiques), dont la série d'articles complémentaires [1-4], à partir desquels on va tirer des conséquences majeures relatives à la méthodologie scientifique.

En particulier, le processus d'auto-organisation qui donnera naissance à une infinité de points de vue résulte de la combinaison d'une procédure dite de filtrage (dimension trans-subjective intrinsèque) avec une autre dite de découplage qui la complète en lui fournissant un point d'appui solide, servant de tremplin pour accéder à une vue panoramique, permettant de révéler une relation de récurrence entre points de vue (dimension intersubjective extrinsèque). C'est ainsi qu'on obtient, par itérations successives, une infinité de points de vue dont ceux développés au cours de l'histoire scientifique.

On montrera enfin que cette nouvelle approche permet de dénouer un certain nombre de controverses et de contradictions que la rationalité scientifique usuelle n'est pas en mesure de résoudre et de lever.

Première partie

Rationalité usuelle et extension à d'autres points de vue rationnels

Nous allons commencer par rappeler le point de vue analytique relatif à la rationalité usuelle de la physique, appliquée au cadre einsteinien, avec sa métrique lorentzienne, avant de montrer comment accéder naturellement à deux autres points de vue complémentaires. Afin d'aller à l'essentiel de la manière la plus simple, sans entrer dans des considérations superflues pour notre propos, on se place à une seule dimension spatiale.

Rappelons que la rationalité usuelle de la physique est fournie par le principe physique de moindre action, exprimé mathématiquement par la formulation lagrangienne, qualifiée de belle et élégante (critère esthétique) par Lagrange lui-même. Cette formulation permet de déduire la structure de la dynamique (ici les entités qui se conservent p et E), dès lors qu'on se donne la forme quantifiée de l'action A. En particulier, dans le cadre einsteinien, l'action est identifiée au temps propre τ (à une constante dimensionnelle près : $A = a\tau$). Cette extrême simplicité formelle de la procédure d'identification fournit un argument supplémentaire à la beauté et l'élégance déjà évoquées par Lagrange. Comme on le verra plus loin, cette simplicité formelle - qui relève de la séduction au lieu de la déduction, certes utile à l'exploration mais pas à l'explication - sera déduite et expliquée à partir de la démarche supra-analytique.

L'impulsion p et l'énergie E qui vérifient les expressions générales :

$p = dL/dv$ et $E = vdL/dv - L$ avec $v = dr/dt$

se déduisent du lagrangien L, défini à partir de l'action A, tel que : $A = \int Ldt$. En physique einsteinienne, régie par la métrique lorentzienne : $d\tau^2 = dt^2 - dr^2/c^2$, la variation de l'action est proportionnelle à celle du temps propre, soit : $dA = a\, d\tau$, avec $a = -mc^2$, d'où l'on tire l'expression du lagrangien :

$L = -mc^2 (1 - v^2/c^2)^{1/2}$

En y appliquant les expressions générales de p et E données ci-dessus, on obtient :

$p = mv/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ et $E = mc^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$

Emergence naturelle de deux autres points de vue
Au vu de la métrique lorentzienne : $dt^2 - dr^2/c^2 = d\tau^2$, avec ses deux temps : propre τ et impropre t, la dérivée de l'espace par rapport au temps se trouve dédoublée puisqu'on a alors : $u = dr/d\tau$ et $v = dr/dt$. Lorsqu'on exprime le mouvement en ayant recours à τ au lieu de t, diverses propriétés remarquables vont émerger et donner naissance à deux autres points de vue. Le mouvement se trouve alors exprimé de trois manières différentes : en plus de la vitesse v, apparaissent la célérité u et la rapidité w.

Points de vue relatifs à la célérité et la rapidité:
Lorsqu'on remplace la vitesse $v = dr/dt$ par la célérité : $u = dr/d\tau$ apparaît alors, à travers leur rapport (u/v), ledit facteur de Lorentz $\Gamma = dt/d\tau$ qui lie les deux paramètres du mouvement, soit : $v = \Gamma u$. L'une des propriétés remarquables qui en résulte est que l'impulsion p et l'énergie E se révèlent alors proportionnelles respectivement à u et Γ :

$p = mu = m\, dr/d\tau$ et $E = mc^2\, \Gamma = mc^2\, dt/d\tau$, avec $c^2\Gamma^2 - u^2 = c^2$

Ceci permet de les rassembler au sein d'un même vecteur :

$\mathbf{p} = m\mathbf{u}$ avec $\mathbf{u.u} = c^2$

dès lors qu'on pose :

$\mathbf{p} = (E/c, p)$ et $\mathbf{u} = (c\Gamma, u) = (cdt/d\tau, dr/d\tau) = d\mathbf{r}/d\tau$
Le produit scalaire : $\mathbf{u.u} = c^2$ est régi par une signature minkowskienne : $\eta = (1, -1)$.

Il est remarquable de noter que la structure de la dynamique peut être réduite à un simple vecteur unitaire : $\mathbf{n.n} = 1$, vérifiant : $\mathbf{n} = \mathbf{u}/c$, avec $\mathbf{u} = \mathbf{p}/m$!

Afin d'adjoindre au point de vue de la vitesse deux autres points de vue qui vont apparaître naturellement, il suffit d'exprimer Γ en fonction de la célérité u, ou encore du paramètre naturel associé à la forme hyperbolique : $\Gamma^2 - u^2/c^2 = 1$, ce qui revient à identifier cette forme à : $[\cosh(z)]^2 - [\sinh(z)]^2 = 1$, avec $z = w/c$ où le paramètre w est connu sous le nom de rapidité. On obtient ainsi trois points de vue, relatifs à la vitesse v, la célérité u et la rapidité w, soient :

$p = mv/(1 - v^2/c^2)^{1/2} = mu = mc \sinh(w/c)$

et

$E = mc^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2} = mc^2(1 + u^2/c^2)^{1/2} = mc^2 \cosh(w/c)$

L'élimination des paramètres du mouvement v, u et w conduit à une seule et même relation intrinsèque (indépendante de tout point de vue). Et c'est cette expression qui exprime le monde dynamique d'Einstein :

$$E^2/c^2 - p^2 = m^2c^2 \quad \text{ou encore} \quad E = mc^2(1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$$

Notons qu'en partant de cette dernière expression, on peut retrouver les trois points de vue relatifs à la célérité u, la vitesse v et la rapidité w en posant d'abord : $u = p/m$ qui vérifie $pdu = udp$, ce qui caractérise le point de vue associé à la méthode géométrique, ensuite : $vdp = pdw = dE$, caractérisant respectivement les deux autres points de vue, associés au calcul variationnel et à la théorie des groupes. Pour plus de détails sur ces trois points de vue, particulièrement celui associé à la rapidité (moins connu, ayant été considéré tardivement), on peut se référer à [6-10].

Afin d'être complet, il convient de noter que si la rationalité physique reste principalement fondée sur le point de vue variationnel de Lagrange et Hamilton, la physique-mathématique, développée à l'école française de mathématique et de mécanique théorique, a été plus loin. Elle adopte la méthode géométrique, en allant au-delà de sa version vectorielle (à la Newton : Principe fondamental de la dynamique), au profit d'une version scalaire (à la d'Alembert : Principe des puissances virtuelles). Cette dernière, fondée sur la notion de dualité, s'est révélée particulièrement adaptée aux systèmes complexes électro-magnéto-thermo-mécaniques. Comme on l'expliquera à la fin de l'article, cette complexité externe, avec ses différentes interactions entre la mécanique, l'électromagnétisme et la thermodynamique, est à distinguer de la complexité interne (propre à la mécanique), développée ci-dessous par l'approche supra-analytique, avec son infinité de points de vue.

Rappel des versions vectorielle et scalaire de la méthode géométrique

Nous rappelons ici les deux versions de la méthode géométrique en montrant comment la version vectorielle découle de la version scalaire avant de souligner sa richesse structurelle qui ouvre naturellement sur les deux autres points de vue développés indépendamment au cours de l'histoire scientifique.

On commence par noter que la dérivée par rapport à τ, de : $\mathbf{p} = m\mathbf{u}$ et $\mathbf{u}.\mathbf{u} = c^2$ (donnés ci-dessus), conduit au principe fondamental de la dynamique, initié par Newton, appliqué ici à la dynamique einsteinienne, soit : $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ avec $\mathbf{u}.\mathbf{a} = 0$ où l'on a posé : $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/d\tau$ et $\mathbf{a} = d\mathbf{u}/d\tau$. Cette écriture compacte correspond à la version vectorielle de la méthode géométrique qui a recours à la géométrie de l'espace-temps dite aussi chrono-géométrie. Ce principe fondamental de la dynamique, fondé sur la notion de force : $\mathbf{F}$ (un vecteur), est déductible du principe des puissances virtuelles, fondé sur la notion de puissance P (un scalaire) qui s'exprime par : $P^* = (\mathbf{F} - m\mathbf{a}).\mathbf{u}^* = 0$ avec $\mathbf{u}.\mathbf{F} = 0$, conduisant ainsi à la version scalaire de la méthode géométrique. En effet, en supposant la puissance virtuelle : $P^* = 0$ vraie pour tout mouvement virtuel $\mathbf{u}^*$, on déduit : $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Quant à la déduction de $\mathbf{u}.\mathbf{a} = 0$, elle s'obtient en faisant coïncider le mouvement virtuel $\mathbf{u}^*$ avec le mouvement actuel $\mathbf{u}$. La considération de la notion de puissance au lieu de celle de force fait intervenir la notion de dualité entre les entités cinématiques : $\mathbf{u} = d\mathbf{r}/d\tau = d/d\tau(ct, r) = (c\Gamma, u)$ et dynamiques : $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/d\tau = d/d\tau(E/c, p)$. Cette dualité apparaît à travers $\mathbf{u}.\mathbf{F} = 0$ ou sa contrepartie infinitésimale $\mathbf{u}.d\mathbf{p} = 0$, dont la forme explicite correspond à : $\Gamma dE - udp = 0$.

Richesse structurelle de la version scalaire du point de vue géométrique
Sachant que la méthode géométrique qui remplace la notion de vitesse $v = dr/dt$ par celle de célérité $u = dr/d\tau$, conduit à $p = mu$, d'où l'on tire : $udp = pdu$, il s'en suit que l'introduction de ce résultat dans : $\Gamma dE - udp = 0$ va élargir le champ du possible, puisqu'on a alors : $\Gamma dE - udp = \Gamma dE - pdu = 0$. La richesse structurelle qui découle de cet élargissement va permettre de déduire les deux autres points de vue relatifs à la vitesse v et la rapidité w. Dès lors qu'on divise par Γ, en posant : $v = u/\Gamma$ et $dw = du/\Gamma$ on déduit deux points de vue caractérisés par : $dE = vdp$ et $dE = pdw$, correspondants respectivement aux points de vue obtenus par le recours au calcul variationnel et à la théorie des groupes. Comme Γ se trouve caché dans la définition de v et celle de w, le cheminement inverse n'est pas possible sans passer par une étape intermédiaire, qui requiert une hypothèse supplémentaire.

On voit là la dimension synthétique qui découle de la version scalaire de l'approche géométrique, associée à la célérité u, qui ouvre naturellement sur les deux autres points de vue, associés à la vitesse v et la rapidité w.

Il convient de souligner cependant que malgré la richesse structurelle de la version scalaire de l'approche géométrique, fondée sur la notion de dualité entre dynamique et cinématique (ou métrique spatiotemporelle), celle-ci reste incapable de saisir la dynamique dans sa globalité, à travers un cadre de pensée « hors points de vue », susceptible d'en engendrer une infinité. En outre, la notion de dualité et la structure de l'espace-temps apparaissent comme des données premières, imposées a priori et donc inexplicables.

Nous allons voir comment la démarche supra-analytique –au-delà de sa capacité d'engendrer une infinité de points de vue - permet aussi de remonter à l'origine de la notion de dualité ainsi que de la structure de l'espace-temps et bien d'autres considérations relatives à l'ensemble des points de vue développés au cours de l'histoire scientifique. Ceci conduira à un changement radical de la conception usuelle de l'objectivité scientifique, avec des conséquences notables pour certaines interprétations et explications qui s'avèrent partielles et partiales, parfois défectueuses et erronées. Cette déficience résulte souvent de justifications fondées sur tel ou tel point de vue alors que seul un cadre « hors points de vue » est en mesure de fournir une interprétation véridique et une explication authentique.

Aussi, à la lumière de la démarche supra-analytique développée dans la seconde partie, on verra comment lever les contradictions et clarifier certaines situations problématiques, comme celle de « masse relativiste » qui apparaît, à travers la rationalité de la physique, comme un simple accident historique ! Mais avant de présenter cette nouvelle démarche (supra-analytique), des considérations à propos des contradictions et de la « masse relativiste », sont précisées ci-dessous.

Contradictions physiques et « masse relativiste »
Depuis **l'affirmation** d'Einstein **:** ***« 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 »,* on admet que la physique de Newton correspond à un cas particulier de la physique d'Einstein. Mais,

quand on y regarde de près, on s'aperçoit que ce qui est dit n'est pas conforme à ce qui est fait, d'où l'intérêt d'approfondir la question pour que le dire et le faire s'accordent entre eux.

Habituellement, on vérifie que pour les faibles vitesses, l'expression de l'impulsion relativiste d'Einstein se réduit effectivement à celle de Newton. En effet, partant de : $p = mv/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ qui s'écrit aussi $p = Mv$, avec $M = m/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, appelée « masse relativiste », on déduit $p = mv$, lorsque $v^2/c^2 \ll 1$. Mais cette focalisation sur la seule impulsion ne suffit pas car si l'on considère les deux entités conservées que sont l'énergie et l'impulsion : $(E, p) = M(c^2, v)$, on s'aperçoit que leurs expressions locales se réduisent à : $(E, p) = m(c^2, v)$, ce qui est problématique : l'énergie y devient constante : $E = mc^2 = E_0$, au lieu d'être parabolique, comme pour le cadre newtonien : $E = ½ mv^2 + E_0$. On peut certes lever la contradiction pour ce qui est de l'énergie en effectuant un développement limité au premier ordre en v^2, mais avec un tel développement, c'est l'impulsion p qui pose alors problème, ce qui maintient la contradiction en la déplaçant de l'énergie à l'impulsion.

Les défenseurs de la rationalité usuelle expliquent que cette contradiction provient du fait qu'on raisonne sur les expressions finales, quand le raisonnement devrait porter sur l'expression initiale : celle du lagrangien L (concept unificateur). En effet, en partant du lagrangien : $L = - mc^2 (1 - v^2/c^2)^{1/2}$ et en effectuant un développement limité au premier ordre en v^2, on est conduit à : $L = ½ mv^2 - E_0$ avec $E_0 = mc^2$, d'où l'on tire à partir des expressions générales : $p = dL/dv$ et $E = vp - L$, les deux entités conservées du cadre newtonien : $p = mv$ et $E = ½ mv^2 + E_0$. C'est ainsi que la contradiction semble levée, grâce à l'unité qu'apporte le lagrangien.

Notons que lorsqu'on adopte la rationalité usuelle de la physique on ne rencontre jamais la notion de « masse relativiste » M, introduite historiquement pour que l'impulsion einsteinienne : $p = Mv$ ressemble à celle newtonienne : $p = mv$, ce qui transforme l'énergie en : $E = Mc^2$. Sachant que, dans le système d'unités naturelles ($c = 1$), $E = Mc^2$ devient $E = M$, on a déduit que E et M constituent une seule et même entité et qu'il serait redondant d'introduire deux notations pour une seule et même chose ! Les physiciens modernes ont fini par considérer la notion de « masse relativiste » comme un accident historique, un artifice qui induit en erreur, posant plus de problèmes qu'il n'en résout. C'est ce qui explique sa disparition des traités modernes particulièrement ceux, adoptant le point de vue géométrique qui semble ne laisser aucune place pour la notion de « masse relativiste », ni même pour la contradiction, comme expliqué ci-dessous.

Du point de vue variationnel au point de vue géométrique

Le point de vue géométrique va conduire à la même conclusion que celle issue du point de vue variationnel, tant pour ce qui est de la contradiction que de la « masse relativiste », mais cela va être obtenu de façons directe et rapide, sans avoir besoin de recourir aux divers arguments invoqués ci-dessus.

En effet, si pour la vitesse où l'on a : $p = mv/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ et $E = mc^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, la question de la contradiction se pose et requiert de remonter au lagrangien pour qu'elle soit levée, pour la célérité, la question de la contradiction ne se pose même pas. En effet, comme la distinction formelle entre les cadres : newtonien et einsteinien, se trouve concentrée dans l'expression de l'énergie, puisqu'on a : $p = mu$ et $E = mc^2(1 + u^2/c^2)^{1/2}$, un développement limité au premier ordre en u^2, conduit directement au cadre newtonien : $p = mu$ et $E = ½\ mu^2 + E_0$, avec $E_0 = mc^2$. Nul besoin donc de passer ici par l'unité qu'apporte le lagrangien ! Dans l'approche géométrique, l'unité est incarnée dans l'écriture compacte, où l'énergie-impulsion $\mathbf{p}$ s'avère proportionnelle à un vecteur unitaire $\mathbf{n}$, soit : $\mathbf{p} = m\mathbf{u} = mc\mathbf{n}$, avec $\mathbf{n.n} = 1$.

Quant à l'argument relatif à l'introduction de la « masse relativiste » $M = m/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, conduisant à : $p = Mv$, il se révèle sans objet, au regard du point de vue géométrique puisqu'on a directement : $p = mu$. Avec cet autre point de vue, le rapport qui distingue M de m, se trouve transféré de la matière au mouvement, puisqu'on a : $M/m = u/v$, d'après $p = Mv = mu$.

Ainsi, les questions qui se posent lorsqu'on exprime la dynamique en fonction de la vitesse, tant pour la contradiction que pour la « masse relativiste », semblent disparaître lorsque cette même dynamique est exprimée en fonction de la célérité. Apparaît alors une grande économie de pensée, particulièrement appréciée par les physiciens, dont l'auteur de cet article, formé au sein d'une école de pensée qui souligne l'importance de la géométrisation de la physique. Nous allons voir cependant que tout n'est pas réglé pour autant et en voici la raison.

Approfondissement du problème de la contradiction

La contradiction qui semble levée ci-dessus va réapparaître dès lors qu'on remonte aux structures spatio-temporelles sur lesquelles reposent les approches : variationnelle et géométrique. En effet, si l'on considère la définition du lagrangien, issu de l'action qui, dans le cadre einsteinien, s'identifie au temps propre τ (à une constante dimensionnelle près : $A = a\tau$, avec $a = - mc^2$), soit explicitement : $A = \int L dt = - \int mc^2 d\tau$, on tombe de nouveau sur une contradiction. Pour une chronologie newtonienne : $dt/d\tau = 1$, le lagrangien se réduit à une constante, ce qui n'est pas compatible avec le lagrangien newtonien (parabolique). Pour ce qui est de l'approche géométrique, avec la célérité u pour paramètre du mouvement, la même conclusion découle de façon directe, sans nul besoin de remonter à l'action et au lagrangien, comme pour l'approche variationnelle. Ici, l'impulsion et l'énergie : $p = mu$ et $E = mc^2 (1 + u^2/c^2)^{1/2}$ proviennent de l'écriture vectorielle compacte : $\mathbf{p} = m\mathbf{u}$, dont la forme explicite donne : $p = m\ dr/d\tau$ et $E = mc^2\ dt/d\tau$.

Ainsi, dès lors qu'on introduit le facteur de Lorentz : $\Gamma = dt/d\tau = 1/(1 - v^2/c^2)^{1/2} = (1 + u^2/c^2)^{1/2}$ grâce auquel on s'assure d'un passage irréprochable du cadre einsteinien au cadre newtonien : $\Gamma = dt/d\tau \to 1$, on prend conscience du fait que la seule procédure de localisation correcte est celle qui remplace Γ par l'unité ($\Gamma = 1$), faute de quoi la chronologie newtonienne : $dt/d\tau = 1$ se trouve contredite : un développement limité au premier ordre en v^2 ou en u^2, conduit à : $\Gamma = dt/d\tau = 1 + ½\ v^2/c^2 = 1 + ½\ u^2/c^2 \neq 1$ donc à : $dt \neq d\tau$, ce qui nie le temps absolu de Newton !

Pour lever la contradiction et pour avoir aussi un nouvel éclairage sur la notion de « masse relativiste », nous allons développer, dans la seconde partie de cet article, un cadre supra-analytique, « hors points de vue », permettant, entre autres choses, d'engendrer les points de vue analytiques rappelés ci-dessus. Mais avant de s'y atteler, il importe de rappeler l'existence d'une solution qui ne met pas en cause la rationalité analytique usuelle, en introduisant l'idée d'incommensurabilité.

L'incommensurabilité : alternative au passage de l'analytique au supra-analytique
Quelques logiciens, mathématiciens et/ou philosophes des sciences n'ont pas manqué de voir qu'il y a en physique des contradictions dont celle qu'on vient de révéler ci-dessus et qu'on cherche à lever par un approfondissement de la rationalité scientifique usuelle. Mais c'est une autre voie de sortie qui a été empruntée, certes, moins ambitieuse, mais beaucoup plus facile à suivre. Il est, en effet, nettement plus simple de nier la contradiction, en la considérant sans objet, due à une mauvaise interprétation des théories physiques de Newton et Einstein, qui seraient incommensurables. Cette incommensurabilité consiste à nier le lien qu'on établit usuellement entre les cadres : newtonien et einsteinien, à travers le mécanisme de localisation, ce qui rend la question de la contradiction caduque. Elle ne se pose que si l'on adhère à la thèse de la commensurabilité.

Si la thèse de l'incommensurabilité se révèle pleinement justifiée par la rationalité usuelle (analytique), celle-ci devra être réexaminée et réévaluée, à la lumière de la rationalité nouvelle (supra-analytique) développée ci-dessous. Son caractère « hors points de vue », susceptible d'en engendrer une infinité, lui octroie des aptitudes dépassant de loin les capacités de n'importe quelle rationalité analytique, par nature, limitée à un seul point de vue. Et cela va renouveler en profondeur le statut de la science dans son rapport à la philosophie ainsi qu'à d'autres domaines de la connaissance.

Rappelons que selon la rationalité usuelle (analytique), initiée par Descartes, la science physique ne relève pas du « pourquoi », propre à la philosophie, mais seulement du « comment » et du « combien », assurés respectivement par un formalisme mathématique bien-identifié et par sa confrontation à la mesure physique. Cette rationalité a été améliorée par Lagrange avant d'être prolongée et poursuivie jusqu'à nous. C'est d'ailleurs cette conception (cartésiano-lagrangienne) qui a fait dire à Heidegger : « La science ne pense pas », précisant par là qu'elle n'a pas pour vocation de dire le « pourquoi ». Quant à la rationalité supra-analytique, héritée de l'architectonique de Leibniz, censée remonter à la source des divers formalismes analytiques, elle accède de ce fait au « pourquoi » et donc à la pensée. Mieux encore, non seulement la science supra-analytique pense, mais, comme on le verra plus loin, elle est aussi sûre de sa pensée, grâce à ses preuves logiques et démonstrations mathématiques.

Seconde partie

Démarche supra-analytique et objectivité
Après un rappel succinct de la démarche supra-analytique - publiée dans divers articles scientifiques [1-4], puis vulgarisée et détaillée dans [5, 11-12] – on focalise sur deux résultats particulièrement significatifs. Le premier résultat remarquable, précisé ci-dessous, est de déduire la relation intrinsèque : $E^2/c^2 - p^2 = m^2c^2$ ou encore $E = mc^2(1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$ sans recourir à un quelconque point de vue postulé à l'avance. Le second résultat, non moins remarquable, est d'obtenir, par auto-organisation, de façon relationnelle, collective et interdépendante, une infinité de points de vue dont ceux développés au cours de l'histoire scientifique.

Ainsi, le premier résultat révèlera une objectivité par trans-subjectivité pendant que le second débouchera sur une objectivité par intersubjectivité.

Rappel succinct : Le développement de la démarche supra-analytique consiste à combiner les deux principes de relativité et de conservation de façon générale (i.e. indépendamment de tout point de vue). Cela conduit à un certain opérateur indéterminé : $d_I/dx = I\, d/dx$, qui joue le rôle de générateur d'entités conservées et qui peut prendre une infinité de formes différentes en raison de l'indétermination du facteur $I = \hat{I}(x)$ qui apparaît dès lors qu'on refuse de spécifier un quelconque point de vue sur le mouvement, noté ici par l'inconnue x. C'est ainsi qu'en partant de l'énergie E, on déduit l'impulsion en y appliquant l'opérateur d_I/dx, soit : $p = d_IE/dx = I\, dE/dx$.

Comme le problème de la dynamique requiert deux et seulement deux entités conservées (énergie et impulsion), on impose à l'opérateur du second ordre : $d_I^2/dx^2 = (Id/dx)(Id/dx)$ appliqué à E, une contrainte qui limite le nombre d'entités conservées à deux, ce qui est requis pour avoir un problème dynamique bien-posé. Cette contrainte, notée C dans [2-4] qui s'avère identifiable à la « masse relativiste » M (C = M, pour Masse) comme on le montre dans [2], sera directement notée M ici, non seulement pour ne pas multiplier les dénominations mais aussi parce qu'elle constitue la « Matrice Mère », à partir de laquelle seront déduits les différents formalismes analytiques. On pose donc : $M \equiv d_I^2E/dx^2 = d_Ip/dx$ (M pour Matrice Mère, ayant la dimension d'une Masse), sans perdre de vue le fait qu'elle s'introduit initialement comme une contrainte qui s'impose pour limiter à deux le nombre d'entités conservées (E et p).

Sans entrer dans les détails, on montre que parmi l'ensemble infini des formes possibles, exprimées à travers l'expression générale de $M = R(E, p)$ - fonction des deux entités qui se conservent E et p, développable en séries infinies - seule l'expression : $M = \lambda E + \gamma p + \eta$ qui, grâce à $p = d_IE/dx$, s'écrit aussi : $M = \lambda E + \gamma\, d_IE/dx + \eta$, se révèle compatible avec les propriétés de conservation, où les trois coefficients λ, γ et η sont constants. Grâce à cette extrême réduction, où la double infinité de coefficients associés à E et p se réduisent à trois, on est conduit à la forme suivante :

$$M = d_I^2E/dx^2 = \lambda E + \gamma\, d_IE/dx + \eta$$

soit, explicitement à :

$$M = (I\, d/dx)(I\, d/dx)E = I^2\, d^2E/dx^2 + (I\, dI/dx)dE/dx = \lambda E + \gamma\, I\, dE/dx + \eta$$

Objectivité par trans-subjectivité

Afin d'obtenir l'objectivité par trans-subjectivité, nous allons procéder à l'élimination du couple indéterminé (I, x), reflétant une infinité de points de vue dont aucun n'est déterminé à l'avance, au profit du couple d'entités conservées (p, E). Et cela va s'obtenir déductivement par une procédure dite de filtrage.

Procédure de filtrage

La substitution de $p = d_IE/dx = I\, dE/dx$ dans l'expression de M, permet d'éliminer le couple (I, x) relatif aux innombrables points de vue sur le mouvement qui restent à déterminer, au profit du couple (p, E) relatif aux entités conservées. Cette procédure de filtrage s'obtient grâce à la propriété suivante : $I\, d/dx = p\, d/dE$ qui découle de $p = I\, dE/dx$. En remplaçant ainsi l'opérateur extrinsèque $I\, d/dx$, dépendant du mouvement, par l'opérateur intrinsèque $p\, d/dE$ qui n'en dépend pas, on obtient :

$$M = (p\, d/dE)(p\, d/dE)E = [p^2 d^2/dE^2 + (pdp/dE)d/E)]E = p\, dp/dE = \lambda E + \gamma p + \eta$$

Dès lors qu'on sélectionne parmi les mondes dynamiques admissibles : $M = \lambda E + \gamma p + \eta$, celui d'Einstein, qui se révèle doublement particulier : $(\lambda, \gamma, \eta) = (1/c^2, 0, 0)$, on obtient d'une part, la forme extrinsèque :

$$M = (I\, d/dx)(I\, d/dx)E = I^2\, d^2E/dx^2 + (I\, dI/dx)dE/dx = E/c^2$$

sous-déterminée, avec une infinité potentielle de points de vue, spécifiés plus loin, et d'autre part, la forme intrinsèque :

$$M = (p\, d/dE)(p\, d/dE)E = p\, dp/dE = E/c^2$$

indépendante de tout point de vue, qui elle est bien-déterminée.

Une simple intégration conduit, en effet, à l'expression intrinsèque :

$$M = m\, F(p/mc) = m(1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}, \text{ avec } M = E/c^2$$

bien-déterminée, où la constante d'intégration vérifie la condition: $p = 0$, $M = m$. On retrouve ainsi : $E = mc^2\,(1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$, déduite des démarches analytiques après avoir éliminé les paramètres du mouvement (vitesse v, célérité u et rapidité w) correspondants aux différents points de vue. Cette même expression est obtenue ici sans nul recours à un quelconque point de vue. Au contraire, c'est cette expression, issue de la procédure de filtrage qui, combinée à la procédure de découplage (rappelée succinctement ci-dessous), va permettre de déterminer une infinité de points de vue.

Procédure de découplage

La procédure de découplage peut être effectuée de différentes manières, où l'on peut considérer la dérivée (étendue) de E : $p = IdE/dx$ ou celle de p : $M = Idp/dx$, ou encore sa forme intégrale où le paramètre inconnu du mouvement x s'exprime alors en fonction de l'impulsion p, soit : $x = \int(I/M)\, dp = c\, f(p/mc)$. L'expression indéterminée $c\, f(p/mc)$ s'obtient par une simple analyse dimensionnelle où la fonction générale f inclut une infinité potentielle de points de vue couplés, sauf un seul, correspondant à la fonction identité : $f = I_d$. Ce point de vue singulier qui découple la structure débouche sur une sorte de séparation des variables, réduisant ainsi : x à p/m (qu'on notera $x = \hat{u}$, pour unique) et $I = M/m$ (qu'on notera $I = D$, pour découplage). On obtient donc deux relations de proportionnalité reliant $\hat{u}$ à p et D à $M = E/c^2$, soient :

$$p = m\hat{u} \quad \text{et} \quad M = mD = E/c^2, \quad \text{avec} \quad (Mc/m)^2 - (p/m)^2 = (E/mc)^2 - (p/m)^2 = c^2D^2 - \hat{u}^2 = c^2$$

ou de façon compacte :

$$\mathbf{p} = m\hat{\mathbf{u}} \qquad \text{avec} \qquad \hat{\mathbf{u}}.\hat{\mathbf{u}} = c^2$$

où l'on a posé :

p = $(Mc, p) = (E/c, p)$ et **û =** $(cD, \hat{u}) = (Mc/m, p/m) = (E/mc, p/m)$

Remarque : *Notons la similitude structurelle avec* **p** *=* **mu** *avec* **u.u** *= c² correspondant à l'approche géométrique, sauf qu'ici le mouvement associé au couple (I, x) = (D, û) n'est pas défini à partir d'une quelconque métrique spatio-temporelle. Il découle de la procédure de découplage qui, comme précisé plus loin, engendrera la structure spatiotemporelle, où l'on aura :* ***û*** *=* ***u*** *= d****r****/dτ, ou explicitement : (cD, û) = (cΓ, u) = (cdt/dτ, dr/dτ).*

Perspectivisme infini : Alliance du filtrage et du découplage

Sachant que la procédure de filtrage conduit à : $M = E/c^2 = m(1 + p^2/m^2c^2)^{1/2} \geq m$, sa combinaison avec le résultat issu de la procédure de découplage : $D = M/m = E/mc^2 = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$ qui vérifie : $D \geq 1$, va constituer le point d'ancrage ou de référence sur lequel vont se greffer une infinité de formes, obtenues à partir de la propriété remarquable suivante :

$$D^{\alpha} \leq D \leq D^{\beta} \quad \text{pour} \quad \alpha \leq 1 \text{ et } \beta \geq 1.$$

Ces innombrables formes engendrent un ordre infini, associant la fonction indéterminée I à une loi d'échelle infiniment multiple, où l'opérateur indéterminé : I d/dx va se déterminer d'une infinité de manières, soient :

$$I\, d/dx \rightarrow I_{\mu}\, d/dv_{\mu}\ , \text{ avec } I \rightarrow I_{\mu} = D^{2-\mu}$$

dont on ne donne pas les détails ici. Pour cela, on peut consulter [1] ou encore l'article pédagogique [12].

Détermination de l'infinité de points de vue

Grâce à : $I\, d/dx \rightarrow I_{\mu}\, d/dv_{\mu} = D^{2-\mu}\, d/dv_{\mu}$, la forme générale sous-déterminée :

$$M = (I\, d/dx)(I\, d/dx)E = I^2\, d^2E/dx^2 + (I\, dI/dx)dE/dx = E/c^2$$

va se déterminer comme suit :

$$M = (I\, d/dx)(I\, d/dx)E = (D^{2-\mu}\, d/dv_{\mu})(D^{2-\mu}\, d/dv_{\mu})E = m\, D = E/c^2$$

où l'opérateur indéterminé : Id/dx va se déterminer d'une infinité de manières à travers l'opérateur : $I_{\mu}\, d/dv_{\mu}$, avec $I_{\mu} = D^{2-\mu}$

Compte tenu de : $p = I\, dE/dx = I_{\mu}dE/dv_{\mu}$, le système d'équations différentielles du second ordre en E se réduit à un système d'équations du premier ordre en p, soit :

$M = I\, dp/dx = D^{2-\mu}\, dp/dv_{\mu} = m\, D$, avec $p = I_{\mu}dE/dv_{\mu}$

d'où l'on tire :

$$v_{\mu} = (1/m) \int dp/D^{(\mu-1)}$$

Rappelons que grâce à la structure intrinsèque, déduite ci-dessus : $M = pdp/dE = E/c^2$, on a déjà déterminé M en fonction de p, d'où l'on a tiré :

$$D = M/m = E/mc^2 = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$$

ce qui conduit à :

$$v_\mu = (1/m) \int dp/(1 + p^2/m^2c^2)^{(\mu-1)/2}$$

On déduit ainsi une infinité de points de vue où apparaissent quatre points de vue harmonieux de base (singuliers, remarquables et opérationnels) $\mu = \{1, 2, 3 \text{ et } 4\}$, incluant les trois développés au cours de l'histoire scientifique. Quant aux innombrables points de vue restants, ils correspondent à des combinaisons plus ou moins compliquées des quatre points de vue de base. On vérifiera que les trois points de vue développés, à travers trois méthodes analytiques, utilisant le calcul variationnel, la méthode géométrique et la théorie des groupes, correspondent respectivement à trois valeurs de l'indice $\mu = \{4, 1 \text{ et } 2\}$, avec les formes explicites :

$$p = mv/(1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad \text{et} \quad E = mc^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2} \qquad \text{avec } v = v_4$$

$$p = mu \quad \text{et} \quad E = mc^2(1 + u^2/c^2)^{1/2} \qquad \text{avec } u = v_1$$

$$p = mc \sinh(w/c) \quad \text{et} \quad E = mc^2 \cosh(w/c) \qquad \text{avec } w = v_2$$

Quant au point de vue d'ordre trois, il correspond à :

$$p = mc \tan(z/c) \quad \text{et} \quad E = mc^2/\cos(z/c) \qquad \text{avec } z = v_3$$

Ce point de vue exprime le mouvement à travers les fonctions trigonométriques qui permettent d'interpréter la contraction des longueurs comme un simple effet de perspective ($0 \le \theta \le \pi/2$, avec $\theta = |z/c|$). Il s'agit d'une contraction apparente comme pour une réglette dont l'ombre se contracte de plus en plus lorsqu'on la tourne progressivement. Rappelons qu'ici, le but ne consiste pas à focaliser sur les aspects physiques, précisés ailleurs, mais seulement sur l'objectivité scientifique et les concepts de trans-subjectivité et intersubjectivité qui la sous-tendent.

Objectivité par intersubjectivité

Afin de faire apparaître l'objectivité par intersubjectivité, il suffit de mettre en évidence le caractère relationnel de ce perspectivisme infini, propre à la dimension supra-analytique.

Intersubjectivité issue du caractère relationnel de la démarche supra-analytique

Le caractère relationnel se manifeste lorsqu'on pose : $U_\mu = dp/dv_\mu$ et $\hat{U}_\mu = dE/dv_\mu$, ce qui conduit au rapport de rapport (ou double rapport) :

$$(dp/dv_{\mu+1})/(dp/dv_\mu) = U_{\mu+1}/U_\mu = \hat{U}_{\mu+1}/\hat{U}_\mu = D$$

où $D = M/m$ joue le rôle de la raison d'une suite géométrique de fonctions !

Sachant que l'expression intrinsèque et objective (indépendante de tout point de vue) : $D = M/m = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$, avec $M = E/c^2$, joue le rôle de la raison d'une suite de fonctions permettant d'engendrer une infinité de points de vue par des itérations successives, apparaît alors la dimension intersubjective dans toute sa clarté.

$$U_{\mu+1}/U_\mu = \hat{U}_{\mu+1}/\hat{U}_\mu = dv_\mu/dv_{\mu+1} = D = M/m$$

La dimension trans-subjective issue de la procédure de filtrage qui conduit à une objectivité scientifique digne de ce nom est ici complétée par la dimension intersubjective qui la rend aussi gracieuse, avec sa double esthétique : collective et individuelle (précisées ci-dessous).

Remarque : *Les termes démodés : « dignité et grâce » qui renvoient ici à une science digne de ce nom qui, de plus, se révèle gracieuse, en raison de l'harmonie qui règne sur le perspectivisme infini de la dynamique, sont ceux-là même qu'utilisait jadis, Leibniz. En témoigne son article intitulé : « Principes de la nature et de la grâce fondés en raison ». D'autres après lui ont adopté ce vocabulaire dans divers contextes scientifiques et littéraires. Si ces termes restent étrangers à la science physique usuelle, c'est parce qu'elle s'est focalisée sur tel ou tel élément (ou point de vue) sans se soucier de leur origine commune qui découle, de façon relationnelle, d'une totalité, exprimée ici à travers une suite infinie de fonctions régies par une « raison mathématique ». En bref, les termes : « dignité et grâce », intimement liés aux dimensions : trans-subjective et intersubjective, n'apparaissent que dans un cadre de pensée où l'on a simultanément : totalité, relations et éléments, ce qui est le cas de la conception scientifique supra-analytique (appelée architectonique par Leibniz). Celle-ci contraste violemment avec la conception analytique qui se contente de développer des éléments (ou points de vue) éparses et indépendants ; conception, par construction, limitée à un point de vue à la fois, ne se détachant d'un point de vue que pour s'attacher à un autre. Or, seul un détachement total et entier de tout point de vue est en mesure d'accéder à une objectivité scientifique digne de ce nom ; dignité accompagnée d'une grâce révélée par l'unité harmonique issue la procédure d'auto-organisation qui déterminera l'ensemble infini de points de vue, représentée par l'image d'une structure arborescente, semblable à l'arbre du voyageur.*

La dignité, issue de la trans-subjectivité, obtenue sans recourir à un quelconque point de vue, est, certes, capitale mais elle reste néanmoins insuffisante, si elle ne s'accompagne pas de la grâce, issue de l'intersubjectivité, liant entre elles une infinité de points de vue à travers la « raison » d'une suite de fonctions. La dignité seule, avec sa forme intrinsèque, se situe à mi-chemin entre l'analytique et le supra-analytique puisqu'à la forme intrinsèque, on peut associer un point de vue individuel et exclusif. Mais en procédant ainsi, on perd la possibilité d'engendrer l'infinité de points de vue, avec l'harmonie qui en découle. Cette harmonie collective et globale engendre les belles propriétés individuelles et locales rencontrées au sein des différentes méthodes analytiques ; propriétés usuellement introduites à travers le *« critère esthétique du « simple et beau » »*.

Rappel : *Le critère esthétique du « simple et beau » remonte à la « mécanique analytique » (dite aussi rationnelle) de Lagrange. Cet esthétisme n'a cessé d'être évoqué à chaque fois qu'on entrevoit un formalisme analytique bien-identifié qui se révèle fructueux pour la physique. C'est* *ainsi que, faute de déduction, on justifie, par la séduction, tel ou tel point de vue, à travers l'attrait qu'exercent ses belles propriétés (remarquables, singulières et opérationnelles) ainsi que l'efficacité qui découle de ses applications pratiques.*

Une éthique génératrice d'esthétiques : sublime (infinie) et belle (finie)
L'approche supra-analytique, avec sa dimension éthique qui s'oppose à toute exclusion en accueillant une infinité de points de vue, fait émerger une Beauté globale, relationnelle et collective, reliant entre elles d'innombrables points de vue. Cette Beauté qui engendre les beautés locales, isolées et individuelles (analytiques) en remontant à leur source commune, relève du sublime : elle renvoie à la démesure, avec son infinité de points de vue. Elle transcende toute beauté analytique, imposée par le choix d'un simple point de vue, en ayant recours au critère esthétique du « simple et beau ». Ce caractère sublime engendre et explique l'ordre analytique qui se contente de placer la beauté au service de l'utilité et de l'exploration, en renonçant à l'intelligibilité et à l'explication, propres à l'ordre supra-analytique (ou architectonique).

Commentaire sur les dimensions : trans-subjective et intersubjective : Ces distinctions importantes pour le développement de la physique du mouvement, dans sa version supra-analytique montrent que la dimension trans-subjective obtenue à travers la procédure de filtrage s'obtient par déduction et relève donc de ce que Leibniz appelle : « *nécessité logique* » alors que la dimension intersubjective obtenue par le mécanisme d'auto-organisation qui combine les procédures de filtrage et de découplage s'obtient par un choix judicieux, certes, naturel étant suggéré par la structure interne du cadre supra-analytique. Tout en étant certain, il n'est pas nécessaire, au sens logique du terme : il relève de ce que Leibniz nomme par : « *nécessité morale (ou hypothétique)* » ; nécessité qui « *incline sans nécessiter* » dira Leibniz.

Il s'en suit, de ce qui vient d'être exposé, que la nécessité logique incarne la dimension trans-subjective, alors que la nécessité morale représente la dimension intersubjective, où le perspectivisme infini peut être abordé de diverses manières même si certaines sont plus naturelles et immédiates que d'autres. On notera d'ailleurs qu'il suffit de combiner n'importe quel point de vue avec la « *raison de la suite* » pour engendrer l'infinité de points de vue qui caractérise le perspectivisme infini de Leibniz.

Conséquences pratiques de la démarche supra-analytique
La démarche supra-analytique établit une rationalité supérieure qui, en plus de sa capacité d'explorer les phénomènes, permet d'expliquer les différentes versions de la démarche analytique, comme on va le voir ci-dessous. Et cela aura des conséquences notables sur les contradictions, incohérences et conceptions diverses et variées.

Nous allons commencer par réexaminer la fondation de la démarche analytique la plus aboutie et qui présente une dimension synthétique, à travers la version scalaire de la méthode géométrique, rappelée ci-dessus. Cette démarche, fondée sur la notion de dualité, adaptée aux principes de symétrie et d'invariance qui ont montré leur efficacité dans l'étude des systèmes complexes mérite d'être approfondie pour accéder à l'origine de cette dualité. Pour cela, nous allons montrer que la démarche supra-analytique permet de déduire cette dualité, usuellement imposée et introduite a priori, perçant ainsi son mystère, avec une justification bien-plus probante que celle qui se contente d'évoquer ses propriétés remarquables, utiles aux investigations scientifiques. On bénéficiera de cette déduction pour montrer aussi que cette dualité qui établit usuellement un pont entre la cinématique et la dynamique est d'origine purement dynamique, indépendante de toute considération spatiotemporelle (ou cinématique) préalable. Si la dynamique supra-analytique, avec son perspectivisme infini, se révèle parfaitement autonome, il n'en demeure pas moins que, parmi l'ensemble infini des perspectives qui en découlent, la notion de dualité révélée par l'une de ses perspectives, va, à son tour, engendrer naturellement la structure spatio-temporelle, exprimée à travers la métrique lorentzienne !

Origine dynamique de la dualité et de la métrique lorentzienne

Nous allons d'abord bénéficier de ce qui a été rappelé ci-dessus (développé explicitement dans [1-4] et [11-12]) pour remonter à l'origine de la physique spatiotemporelle où les notions d'espace et de temps (ou d'espace-temps), avec leurs transformations, ne sont plus postulés mais déduites de la dynamique supra-analytique. Précisément, on montrera comment la métrique lorentzienne découle naturellement de la notion de dualité qui, à son tour découle de la démarche supra-analytique, à travers ladite procédure de découplage. Nous montrerons ensuite comment cette nouvelle démarche permet de lever différentes contradictions et de remédier à certaines difficultés d'interprétation, particulièrement celles associées à la notion de masse variable dite aussi « masse relativiste ». On verra enfin que les dits principes premiers (moindre action, puissances virtuelles…) ne sont pas premiers ni même des principes mais de simples théorèmes issus de la démarche supra-analytique.

Procédure de découplage, à l'Origine de la dualité

Rappelons que parmi l'infinité de points de vue, il en est un qui découple la structure et qui va engendrer la notion de dualité puisque la forme générale : $p = I\, dE/dx$ se trouve alors spécifiée, en se réduisant à : $p = D\, dE/d\hat{u} = mu$ (voir ci-dessus : ***procédure de découplage***). Or, comme $p = m\hat{u}$ implique : $pd\hat{u} = \hat{u}dp$, il s'en suit que la définition de l'impulsion : $p = D\, dE/d\hat{u}$ peut être exprimée sous forme infinitésimale, comme suit : $DdE - pd\hat{u} = DdE - \hat{u}dp = \mathbf{\hat{u}.dp} = 0$, ce qui symétrise la forme initiale : $I\, dE - pdx = 0$ (non-symétrique), permettant ainsi au couple d'entités non-conservées $(I, x) = (D, \hat{u})$ d'apparaître comme le dual du couple d'entités conservées (E, p), à travers leurs variations : dE et dp. Quant à l'écriture compacte, elle s'exprime à travers le produit scalaire $\mathbf{\hat{u}.dp}$ muni d'une signature minkowskienne : $\eta = (1, -1)$, avec : $\mathbf{\hat{u}} = (cD, \hat{u})$ et $\mathbf{p} = (E/c, p)$. L'introduction de la constante c permet aux composantes de chaque vecteur d'avoir la même dimension.

De la dualité à la métrique lorentzienne

La dualité qui découle ici de la démarche supra-analytique, à travers la procédure de découplage, va permettre d'engendrer naturellement la métrique lorentzienne à la base de la physique de l'espace-temps. Pour montrer cela, on passe de l'écriture infinitésimale : $\mathbf{\hat{u}.dp} = 0$ à une écriture finie : $\mathbf{\hat{u}.F} = 0$, en posant : $\mathbf{F} = \mathbf{dp}/d\kappa$ où le paramètre κ, à ce stade indéterminé, va correspondre au temps propre, en faisant émerger, du cœur même de la dynamique, une structure remarquable, identifiable à la métrique lorentzienne. En effet, les transformations du produit scalaire : $\mathbf{\hat{u}.dp} = \mathbf{\hat{u}.F}d\kappa = \mathbf{F.\hat{u}}d\kappa = \mathbf{F}.d\boldsymbol{\chi} = 0$, avec : $d\boldsymbol{\chi} = \mathbf{\hat{u}}d\kappa$, conduisent à : $d\boldsymbol{\chi}.d\boldsymbol{\chi} = \mathbf{\hat{u}.\hat{u}}\, d\kappa^2 = c^2\, d\kappa^2$, sachant qu'on a : $\mathbf{\hat{u}.\hat{u}} = c^2$, ce qui est formellement identique à la définition de la métrique minkowskienne : $\mathbf{dr.dr} = c^2d\tau^2$ dont le développement mène à la métrique lorentzienne : $c^2dt^2 - dr^2 = c^2\, d\tau^2$ qui correspond à : $\mathbf{u.u} = c^2\Gamma^2 - u^2 = c^2dt^2/d\tau^2 - dr^2/d\tau^2 = c^2$. Les détails sont fournis dans [3].

Ainsi, la solution particulière associée à $I = D$ coïncide avec le facteur de Lorentz : $D = \Gamma = dt/d\tau$. Ce résultat issu de la structure supra-analytique : $M = (D^{2-\mu}\, d/dv_\mu)(D^{2-\mu}\, d/dv_\mu)E = mD$ qui conduit à : $v_\mu = (1/m) \int dp/D^{(\mu-1)}$, avec $D = M/m = E/mc^2 = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$, va se révéler utile tant pour lever les contradictions que pour remédier à certaines interprétations fallacieuses et erronées.

A la lumière de la démarche supra-analytique, ledit facteur de Lorentz, définit par : $\Gamma = dt/d\tau$, est désormais déduit : il exprime, parmi l'infinité de points de vue, celui dont la composition du mouvement, correspond au point de vue découplé, soit : $D = \Gamma$ (D pour découplage). Nous avons là une toute autre interprétation de ce facteur que la démarche supra-analytique rend possible. Comme l'infinité de points de vue se trouvent liés au facteur : $D = \Gamma = dt/d\tau$, à travers la loi d'échelle $I_\mu = D^{2-\mu}$ qui détermine l'infinité d'opérateurs : $I_\mu\, d/dv_\mu$, il s'avère que cela va jouer un rôle majeur dans la levée des différentes contradictions précisées et levées dans [11-12]. On se contente ici d'en fournir un exemple, celui relatif à l'énergie.

Levée de la contradiction relative à l'énergie

Lorsqu'on considère le cadre supra-analytique qui vérifie :

$$M = (D^{2-\mu}\, d/dv_\mu)(D^{2-\mu}\, d/dv_\mu)E = mD, \quad \text{avec} \quad p = D^{2-\mu}\, dE/dv_\mu$$

où D coïncide avec le facteur de Lorentz : $D = \Gamma = dt/d\tau$, les expressions de M et de p se réduisent, par localisation : $D = \Gamma = dt/d\tau \to 1$, à la structure locale et dégénérée suivante :

$$M = (d/dv_\mu)(d/dv_\mu)E = d^2E/dv^2 = m, \quad \text{avec} \quad p = dE/dv_\mu = dE/dv$$

qui correspond au cadre newtonien, exprimé sous forme différentielle. En particulier, les innombrables points de vue relatifs à v_μ se trouvent confondus ($v_1, v_2, v_3 \ldots = v$) et convergent tous vers une unique forme locale ($D \to 1$) et dégénérée ($v_\mu = v$ pour toute valeur de l'indice μ), qui coïncide avec le cadre newtonien parabolico-linéaire (parabolique pour l'énergie et linéaire pour l'impulsion).

Ce résultat est essentiel car non seulement il lève les contradictions qui apparaissent dans le cadre de la physique usuelle, où l'action A, le lagrangien L et l'énergie E posent problème, comme précisé dans [11-12], mais il va aussi redonner son vrai sens à la notion de masse variable dite aussi « masse relativiste » en l'articulant à la « Matrice Mère » M, à partir de laquelle vont pouvoir se déduire les différentes démarches analytiques.

Nouveau statut de la notion de masse variable

Rappelons que la « Matrice Mère » M, qui a la dimension d'une masse, correspond à la contrainte requise pour avoir un problème dynamique bien-posé. Et cette contrainte, qui s'avère identifiable à ladite masse variable, va jouer un rôle majeur dans le cas du paramètre du mouvement d'ordre quatre ($\mu = 4$) dont la structure formelle est équivalente à celle associée à la notion de vitesse, comme on l'a déjà montré ci-dessus.

L'infinité de points de vue issue de la démarche supra-analytique développée ci-dessus, avec ses paramètres du mouvement v_μ s'exprime en fonction de p et de E à travers :

$$v_\mu = (1/m) \int dp/D^{(\mu-1)}, \text{ avec } D = M/m = E/mc^2 = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$$

d'où l'on tire :

$v_\mu = (D/M) \int dp/D^{(\mu-1)}$

Compte tenu de : $D = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2}$, on déduit :

$D \int dp/D^{(\mu-1)} = (1 + p^2/m^2c^2)^{1/2} \int dp/(1 + p^2/m^2c^2)^{(\mu-1)/2} = Mv_\mu$

Pour $\mu = 4$, avec les conditions aux limites : $v_\mu = 0$ et $p = 0$, on obtient : $\int dp/D^3 = p/D$, ce qui conduit à une substantielle simplification, soit :

$D \int dp/D^3 = D\,(p/D) = p = Mv_4$

Or, comme le point de vue d'ordre quatre coïncide avec celui de la vitesse v, soit : $v_4 = v$, la notion de masse variable (ou « masse relativiste ») M, dans l'expression : $p = Mv$, largement critiquée par la rationalité usuelle de la physique qui le considère comme un accident historique, trouve ici sa pleine justification. Mieux encore, elle va même permettre de remonter aux différentes formulations analytiques, qui, à la lumière de la démarche supra-analytique, se révèlent insuffisantes, partielles et partiales. Il importe de souligner ces insuffisances qui conduisent à des jugements erronés où la forme, avec ses modes d'existence l'emporte sur le fond, avec sa quintessence.

Déduction de la formulation variationnelle de Lagrange et Hamilton

La combinaison de : $p = Mv_4 = Mv$, avec l'expression intrinsèque : $M = pdp/dE$, vérifiant : $p/M = dE/dp$, conduit à : $v_4 = v = dE/dp$ qui n'est autre que la première équation canonique de Hamilton. Cette équation, déduite ici du point de vue d'ordre quatre, issu de la démarche supra-analytique, constitue le cœur de la formulation hamiltonienne où l'énergie prend la forme suivante : $E = \int vdp$. Pour exprimer les entités conservées (p et E) en fonction de v, il suffit d'effectuer une simple intégration par partie : $E = \int vdp = vp - L$, où l'on a posé $L = \int pdv$, ce qui conduit aux expressions générales qui caractérisent la formulation variationnelle de Lagrange et Hamilton, soit : $p = dL/dv$ et $E = vdL/dv - L$.

Notons qu'on peut remonter directement à l'origine de : $p = dL/dv$ et $E = vdL/dv - L$, sans passer par la première équation canonique de Hamilton : $v = dE/dp$, en considérant, au lieu de la forme intrinsèque : $M = pdp/dE = E/c^2$, combinée à : $p = Mv_4 = Mv$, la structure extrinsèque :

$M = d_\mu{}^2E/dv_\mu{}^2 = (D^{2-\mu}\, d/dv_\mu)(D^{2-\mu}\, d/dv_\mu)E = E/c^2$ avec $p = d_\mu E/dv_\mu = D^{2-\mu}\, dE/dv_\mu$

dans le cas particulier : $\mu = 4$. Celle-ci provient de ce qui a été développé ci-dessus où l'on avait posé : $I\, d/dx \rightarrow I_\mu\, d/dv_\mu$, avec $I \rightarrow I_\mu = D^{2-\mu}$, ce qui pour $\mu = 4$, avec $v_4 = v$, conduit à :

$I\, d/dx \rightarrow I_4\, d/dv$, avec $I \rightarrow I_4 = D^{-2} = (1 - v^2/c^2)$, puisqu'on a : $D = \Gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$

Certes, les manipulations formelles sont beaucoup plus longues mais cela permet de comprendre bien des choses qui restent dans l'ombre autrement. En effet, pour $\mu = 4$, avec $v_4 = v$, l'expression de l'impulsion : $p = I_\mu\, dE/dv_\mu = d_\mu E/dv_\mu$ conduit à : $p = I_4\, dE/dv = d_4E/dv = (1 - v^2/c^2)dE/dv$, ce qui transforme l'expression de M en :

$M = d_4{}^2E/dv^2 = (d_4/dv)(d_4/dv)E = (1 - v^2/c^2)d/dv[(1 - v^2/c^2)d/dv]E = E/c^2$

ou explicitement :

$M = d_4{}^2E/dv^2 = (1 - v^2/c^2)^2\ d^2E/dv^2 - 2v[(1/c^2 - v^2/c^4)]\ dE/dv = E/c^2$

Apparaît alors un contraste saisissant entre la simplicité conceptuelle de $M = d_4{}^2E/dv^2$ - combinant les principes de relativité et de conservation pour avoir deux et seulement deux entités conservées - et la complexité formelle : $M = (1 - v^2/c^2)^2\ d^2E/dv^2 - 2v[(1/c^2 - v^2/c^4)]\ dE/dv$ qui en découle ; complexité difficile à démêler sans effecteur des changements de variables simplificateurs. Or, ce sont précisément ces changements de variables qui vont donner naissance aux notions de lagrangien et de hamiltonien, à la base du formalisme de Lagrange et Hamilton. Pour ne pas alourdir la présentation nous n'effectuons pas ici ces changements de variables qui seront rappelés, de façon générale, dans la « Note récapitulative », donnée à la fin de l'article, où l'on déduira, non seulement le point de vue fondé sur le calcul variationnel mais aussi ceux fondés sur la géométrie moderne et la théorie des groupes.

On se contente ici de préciser que ces changements de variables détruisent la signification physique, la rendant incompréhensible. En particulier, si l'expression de $p = dL/dv$ est plus simple que celle de : $p = d_4E/dv = (1 - v^2/c^2)dE/dv$, seule cette dernière est physiquement significative : elle combine les principes de relativité et de conservation qui se traduisent respectivement par l'opérateur d_4E/dv appliqué à l'entité conservée qu'est l'énergie E pour fournir une autre entité conservée (l'impulsion). Son remplacement par la forme plus simple : $p = dL/dv$ détruit le sens physique puisque d/dv ainsi que L, constituent un opérateur et une entité strictement mathématiques, sans lien direct aux idées de relativité et de conservation. Et cela ne fait qu'empirer lorsqu'on passe de $p = d_4E/dv$ à $M = d_4{}^2E/dv^2$, où l'on devra effectuer un autre découpage simplificateur, rendant la signification physique encore plus difficile à retrouver. Car, plus on fragmente une chose en l'éparpillant, plus on a du mal à reconstituer son unité et ainsi la reconnaître.

Néanmoins, si cette fragmentation par des changements de variables annihile le sens physique, elle facilite grandement les manipulations mathématiques, si utiles aux applications physiques. Pour s'en convaincre, il suffit de noter que si les expressions de l'impulsion et de l'énergie, issues de :

$M = (1 - v^2/c^2)^2\ d^2E/dv^2 - 2v[(1/c^2 - v^2/c^4)]\ dE/dv = E/c^2$, avec $p = (1 - v^2/c^2)dE/dv$

ou de :

$p = dL/dv$ et $E = vdL/dv - L$, avec $L = - mc^2\ (1 - v^2/c^2)^{1/2}$

s'avèrent être les mêmes, à savoir : $p = mv/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ et $E = mc^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, ces expressions sont beaucoup plus simples à déduire du second cas où la donnée du lagrangien suffit pour déduire directement p et E. Rappelons aussi que le lagrangien L découle de l'action A dont l'expression est d'une grande simplicité puisqu'elle s'identifie au temps propre τ (à une constante dimensionnelle près) comme on l'a déjà vu. Mais le revers de la médaille est que ces expressions qui présentent une certaine simplicité et clarté formelles cachent une complexité et obscurité conceptuelles. Pour y remédier, un approfondissement est requis, ce que la démarche supra-analytique est en mesure de réaliser, où l'on opère directement sur les principes physiques de relativité et de conservation, évitant ainsi les ajouts non-nécessaires, issus du formalisme mathématique (analytique : simple mais trop étroit), de la mesure expérimentale ou encore d'un quelconque critère esthétique imposé par le sujet connaissant.

En particulier, le principe de moindre action - dont la simplicité formelle a été célébrée tout au long de l'histoire de la rationalité physique - n'est pas premier comme on le présente usuellement. Il reste énigmatique tant qu'on n'a pas établi le lien avec le principe de base de la physique qu'est le principe de relativité, essentiel à la physique et sur lequel repose la démarche supra-analytique. Celle-ci montre que l'unité et la simplicité apportées par le principe de moindre action et du lagrangien associé, ne sont pas originaires : elles découlent d'une unité supérieure, certes, conceptuellement simple mais formellement complexe d'où la nécessité de sa simplification.

Ainsi, la formulation variationnelle s'avère être un effet issu d'une cause première, fournie par la structure supra-analytique, exprimée à travers la « Matrice Mère », notée M dont l'expression explicite se révèle trop complexe pour être exploitée telle quelle. Cette formulation n'est en fait qu'une procédure simplificatrice, un moyen mathématique (un artifice) qui permet de réduire la complexité de la structure supra-analytique, peu maniable et compliquée à intégrer et à résoudre. Seul l'énoncé du cadre supra-analytique est clair et simple mais pas la structure formelle qui en découle, nécessitant divers découpages et morcellements pour devenir exploitable dans les applications pratiques.

En résumé, à la lumière de la démarche supra-analytique, avec sa simplicité conceptuelle qui débouche sur une certaine complexité formelle, on découvre, qu'en général, la nature (ici la physique du mouvement) n'est pas formellement simple, comme l'affirment les défenseurs de la rationalité usuelle de la physique, qui se servent du critère esthétique du « simple et beau » comme d'un principe premier et fondateur. Un tel principe, limité à un seul point de vue, reste, dans ses différentes versions (variationnelle, géométrique, dynamique…), très réducteur et c'est cette réduction, justifiée par la séduction, qui donne l'impression que la nature peut être formulée de manière simple.

Il importe de noter cependant que la complexité formelle que révèle l'approche supra-analytique n'est pas radicale et indomptable : elle peut être simplifiée par des découpages adéquats comme on l'a vu ci-dessus. Et c'est au travers de ces découpages simplificateurs, utiles à l'exploration scientifique, qu'émergent les dits principes analytiques qui ne sont, en réalité, que des théorèmes. Notons enfin que, contrairement au « simple », le « simplifiable » est second : il présuppose une complexité (formelle) antérieure, caractérisée ici par son aptitude à pouvoir être simplifiée. Et cette prédisposition à la simplification apparaît clairement dans la démarche supra-analytique (ou architectonique) où elle joue un rôle décisif dans la déduction et l'émergence des divers points de vue analytiques, rappelés succinctement ci-dessous.

Note récapitulative : Déduction des différents points de vue analytiques

Nous allons voir comment la présente démarche supra-analytique permet non seulement d'obtenir les solutions fournies par les démarches analytiques (calcul variationnel, géométrie moderne et théorie des groupes), associées respectivement aux paramètres du mouvement d'ordres quatre, un et deux ($v_4 = v$, $v_1 = u$ et $v_2 = w$), mais aussi de déduire les structures formelles de ces démarches à partir desquelles découlent ces solutions.

Pour cela, on part de l'expression générale, exprimée par le système différentiel du second-ordre : $M = (I\ d/dx)(I\ d/dx)E = I^2\ d^2E/dx^2 + (I\ dI/dx)dE/dx$, plutôt difficile à intégrer, mais qui peut être simplifiée en effectuant deux changements de variables qui vont donner naissance à deux nouvelles entités simplificatrices, de même dimension que l'énergie E, notées : F et G et vérifiant : $M = I\ d^2F/dx^2 = [I/x]dG/dx$. Leur intégration conduit à : $G = x\ dF/dx - F$ (à une constante additive près) qui s'écrit aussi : $G = xp - F$ avec $p = dF/dx$, en rappelant qu'on avait initialement : $p = IdE/dx$. Ces entités vont permettre d'identifier les trois approches analytiques (calcul variationnel, géométrie moderne et théorie des groupes) développées au cours de l'histoire scientifique. Ces trois approches qui vérifient respectivement : $v = dE/dp$, $pdu = udp$ et $p = dE/dw$ vont découler ici de : $G = E$, $G = F$ et $F = E$ (à des constantes additives près) respectivement. En effet, pour $G = E$, avec $x = v$, on obtient : $E = vp - F$ avec $p = dF/dv$ d'où l'on tire : $v = dE/dp$. Ensuite, pour $G = F$, avec $x = u$, on déduit : $F = up - F$ avec $p = dF/du$ d'où l'on tire : $pdu = udp$. Enfin, pour $F = E$, avec $x = w$, on est conduit à : $p = dE/dw$. Les détails sont donnés dans l'article [2].

Rappel historique des différents points de vue

Il convient de rappeler que le principe de relativité dans son rapport aux propriétés de conservation a été développé à l'époque pré-newtonienne, par Descartes, corrigé par Huygens et exprimé au travers du calcul infinitésimal par Leibniz. Ce point de vue ($p = dE/dw$) a été par la suite oublié durant des siècles, au profit de celui de Newton ($p = mu$), puis de Lagrange et Hamilton ($v = dE/dp$) avant de réapparaître dans la seconde moitié du 20ème siècle, bénéficiant tant des apports nouveaux de la physique (relativité einsteinienne) que des mathématiques (en particulier, la théorie des groupes). C. Comte a rétabli le lien avec l'origine historique de ce point de vue en plaçant l'accent sur l'apport de Leibniz. Il approfondit les travaux de ses prédécesseurs (Landau, Sampanthar, Provost, Lévy-Leblond…), considérant ce point de vue comme constitutif de la vraie rationalité de la mécanique, comme l'indique le titre de son article [6]. A la même époque, une autre forme de rationalité, exprimée par la version scalaire de l'approche géométrique, correspondant physiquement au « principe des puissances virtuelles ». Ce principe, initié par d'Alembert et fondé sur la notion de dualité, a été ravivé et étendu aux systèmes complexes, à l'école française de mathématiques et de mécanique théorique, où l'auteur a reçu sa formation scientifique. En comparant les divers points de vue, on constate que la version scalaire du point de vue géométrique, adapté à l'étude des systèmes complexes [13-15], s'avère suffisamment riche pour englober la version vectorielle de ce même point de vue ainsi que les deux autres points de vue rationnels, utilisant la théorie des groupes et le calcul variationnel. Cette version scalaire qui présente un caractère synthétique, peut servir de tremplin pour accéder à une vue panoramique et s'affranchir ainsi de tout point de vue. On passe ainsi de l'ordre analytique à l'ordre supra-analytique, où apparaît une autre forme de complexité (interne) qui se distingue de celle (externe) associée à la version scalaire de la méthode géométrique ; complexités précisées ci-dessous.

Complexités externe et interne : Après avoir développé le « principe des puissances virtuelles », fondé sur la notion de dualité, adaptée aux principes de symétrie et d'invariance, appliqué à l'étude des systèmes complexes, électro-magnéto-thermo-mécaniques, tant intégrables que non-intégrables, difficilement abordables par les autres approches analytiques, une autre forme de complexité est apparue. C'est celle présentée dans cet article où le point et la courbe qui le prolonge, reflétant les états de repos et de mouvement, se muent en un point d'accumulation (infinité de points confondus) dont le prolongement débouche sur une structure infiniment arborescente, chaque branche reflétant un point de vue. Comme l'écrit William Blake : **« *Si les portes de la perception étaient nettoyées, chaque chose apparaîtrait à l'homme telle qu'elle est, infinie* ».** Cette forme de complexité structurelle interne au mouvement mécanique, diffère radicalement de la complexité externe qui part de la mécanique et s'ouvre à l'électromagnétisme, la thermodynamique et leurs multiples interactions. En particulier, cette complexité interne renvoie à une nouvelle sémantique où les mots du langage commun (vitesse, célérité…) ne sont plus appropriés, en raison du perspectivisme infini qui caractérise le cadre supra-analytique. Plus de détails sont données dans l'annexe.

Annexe

L'approche architectonique comparée à celles analytique et empirique

Remarque préliminaire : *Cette Annexe qui se veut autonome donne une idée de ma démarche sans entrer dans les détails. Mais cette autonomie a un coût : elle oblige à présenter certains points clés qui se trouvent déjà dans le texte principal.*

La démarche analytique permet d'établir, à travers ses différentes perspectives (ou points de vue) hautement mathématisées, une certaine rationalité, explorant de multiples phénomènes physiques, initialement abordés par tâtonnements (essais et erreurs), avec des moyens empiriques (expérimentaux) et heuristiques (plausibles mais pas certains). Mais celle-ci reste incomplète et parfois même contradictoire, en comparaison à la rationalité architectonique (ou supra-analytique), avec son perspectivisme infini, qui, au-delà de son aptitude à l'exploration scientifique, permet aussi une explication authentique, en remontant à l'origine des différentes perspectives (empiriques et analytiques), ce qui permet de les déduire collectivement, alors que ces perspectives sont habituellement postulées individuellement et progressivement à travers l'histoire scientifique, en étant attachées chacune à un principe physique qualifié, à tort, de premier.

Avec la rationalité supra-analytique, non seulement ces principes ne sont plus premiers mais ils ne sont même plus des principes : ils deviennent de simples théorèmes, étant désormais déduits simultanément d'un principe supérieur qui les englobe et remonte à leur source commune ! Et cette déduction des dits principes physiques (moindre action, puissances virtuelles…) permet de dire le « pourquoi » de telle ou telle perspective (ou point de vue), en plus du « comment » et du « combien », propres aux démarches antérieures tant analytiques qu'empiriques.

S'y ajoutent les concepts imposés a priori et associés aux paramètres du mouvement - comme la vitesse v, la célérité u ou encore la rapidité w - qui acquièrent un tout autre statut. Ils ne peuvent même plus garder leur nom, en raison du caractère infini du perspectivisme supra-analytique. Les perspectives se trouvent alors identifiées par l'ordre qu'elles occupent au sein de la structure supra-analytique unifiée à travers une notation mathématique spécifique, requise pour rendre compte de leur nombre infini. C'est ainsi que les trois concepts indépendants : v, u et w, associés chacun à un principe spécifique, apparaissent respectivement à travers des indices différents : v_4, v_1 et v_2, appartenant à un ensemble ordonné infiniment multiple, exprimé par : v_μ, où l'indice µ peut prendre une infinité de valeurs. Les paramètres indépendants du mouvement : v, u et w perdent ainsi leur qualité de concepts premiers posés a priori, de façons exclusives et indépendantes, pour devenir des entités émergentes et interdépendantes, déduites du cadre inclusif supra-analytique unifié et infiniment ordonné.

Trois niveaux d'investigation scientifique
On distingue ici trois niveaux d'investigation : empirique, analytique et supra-analytique, où les deux premiers présentent diverses caractéristiques communes. Certes, le deuxième niveau (analytique) fait jouer aux mathématiques un rôle crucial, en produisant un cadre de pensée autonome (dit rationnel) n'ayant plus besoin, comme le premier niveau (empirique), de recourir à des ajouts expérimentaux et à des raisonnements heuristiques (tenus pour plausibles), mais ce niveau (analytique) ne fait qu'améliorer le premier (empirique) en préservant ses caractéristiques principales. Les deux niveaux relèvent d'un perspectivisme fini, indépendant et désordonné, régi par les mêmes appellations quant aux paramètres du mouvement (v, u et w). Ceci n'est plus le cas du troisième niveau (supra-analytique) où apparaît un saut du fini à l'infini où les quelques points de vue exclusifs et indépendants, introduits progressivement à travers l'histoire scientifique, trouvent leur raison d'être au sein du cadre supra-analytique infiniment inclusif et interdépendant.

Il y a là un changement radical de méthodologie (ou de stratégie) où l'accent n'est plus mis sur les différentes perspectives et leurs spécificités, ce qui revient à adopter une vision « chosiste » où l'on focalise sur la chose elle-même, à travers son mode d'existence spécifique (conception individuelle, reflétant un simple point de vue). Dans la démarche supra-analytique, ce qui va occuper le devant de la scène et contribuer à l'émergence des modes d'existence des choses c'est un « entre-deux » qui va se répéter invariablement et indéfiniment, engendrant ainsi une infinité de modes d'existence. Non seulement le mode d'existence de la chose individuelle (initialement introduite a priori de façons : indépendante et isolée) survient, n'étant plus postulé a priori, mais sa survenue n'est plus individuelle (et encore moins indépendante et isolée) : elle est interdépendante et relationnelle (conception collective, reflétant une infinité de modes d'existence). Cette infinité est obtenue par des itérations successives et sans fin, découlant d'un principe d'ordre infiniment multiple qui engendre les modes d'existence (points de vue ou perspectives) au lieu de se les donner un à un comme le font les démarches antérieures, tant empiriques qu'analytiques.

Et cela a des conséquences majeures sur les conceptions les plus élémentaires, considérées comme durables, stables et pérennes. C'est ainsi que les états de repos et de mouvement associés à un quelconque mode d'existence (perspective ou point de vue) ne sont plus formalisés à travers les notions mathématiques de point individuel et de courbe (prolongeant le point en question). Certes, chaque mode d'existence (qu'il soit empirique ou analytique) aura sa spécificité, comparé aux autres modes d'existence mais tous sont fondés sur une même conception « chosiste » et individuelle. Et comme ce « chosisme » scientifique se mue, dans le cadre supra-analytique, en un certain « relationnisme », avec une infinité de degrés de liberté, susceptible d'engendrer les innombrables modes d'existence des choses au lieu de se les donner individuellement, les états de repos et de mouvement, habituellement formalisés à travers un simple point individuel et la courbe qui prolonge ce point, se révèlent trop pauvre pour accueillir l'infinité de degrés de liberté

requise par la démarche relationnelle supra-analytique, avec son perspectivisme infini, chaque perspective incarnant un mode d'existence particulier.
C'est ainsi que, comme on l'a déjà indiqué, ces états se trouvent désormais associés à un point d'accumulation (une infinité de points confondus) dont le prolongement donne lieu à une structure infiniment arborescente. Il y a là une métamorphose semblable à celle qui fait passer de l'état de chenille, rampant sur un support fixe et rigide, à celle de papillon, qui peut aussi voler, avec tous les degrés de liberté qui en découlent. La chenille est aux cadres : empirique et analytique ce que le papillon est au cadre supra-analytique.

Commentaire sur la mathématisation inhérente à la démarche analytique
La place prépondérante de la mathématisation, initiée par Lagrange, dans sa mécanique analytique (dite aussi rationnelle), a été critiquée au début, avant d'être, adoptée et diversifiée, ayant prouvé son efficacité dans l'exploration du réel. On notera cependant que, malgré cette efficacité, sa critique ne s'est pas totalement estompée et Einstein lui-même s'était plaint de la mathématisation à outrance de la physique : « *Depuis que les mathématiciens ont envahi la théorie de la relativité, je ne la comprends plus moi-même* » écrit-il.

Plus proches de nous, des scientifiques comme R. Penrose et E. Wigner - en quête d'une réelle intelligibilité au-delà de toute utilité pratique - n'ont pas manqué de relever les caractères : magique et déraisonnable qu'on rencontre en physique-mathématique. C'est ainsi que, par rapport à la physique, R. Penrose évoque le « *lagrangien magique* » et E. Wigner la « *déraisonnable efficacité des mathématiques* ». Certes, en passant de la formulation variationnelle à celle géométrique, où la célérité remplace la vitesse, on élargit le champ des explorations, avec la capacité de rendre compte des systèmes non-intégrables, mais pour ce qui est de l'explication, on n'y est pas : on passe d'un point de vue analytique à un autre ; ici du point de vue variationnel à celui géométrique, même si ce dernier est plus intéressant à divers égards. Or, une explication authentique requiert le développement d'une démarche « hors points de vue », en mesure de remonter à la source des divers points de vue analytiques développés progressivement au cours de l'histoire scientifique. Ces points de vue qui se font échos et qui se reflètent les uns à travers les autres, tels des miroirs qui dirigent leurs rayons dans différentes directions, explorent sans vraiment expliquer, éblouissent sans réellement éclairer.

Rappelons qu'à l'aube de l'essor de la rationalité scientifique, avec la mécanique rationnelle de Lagrange qui qualifie sa démarche de belle et élégante, des voix s'étaient levées, affirmant que la beauté et l'élégance est du ressort des coiffeurs et tailleurs, non des scientifiques et physiciens. Bien-entendu, au-delà de cette attitude, il convient de rappeler qu'en science, il ne suffit pas d'avoir raison sur le fond mais il faut aussi que la forme suive et conduise à des résultats probants. On n'écoute que ceux qui proposent des alternatives viables et fiables, sinon c'est l'échec assuré sur le plan scientifique. Bien souvent, le rejet d'une idée qu'on n'a pas su fructifier n'est pas rationnellement justifié et il n'est pas rare que l'idée en question finisse par triompher grâce à la mise en œuvre d'outils et de méthodes inconnus lors de son émergence. Et la constitution d'une science « hors points de vue », capable d'accéder au « pourquoi » en plus du « comment » et du « combien » est l'une de ses idées qui a fini par devenir scientifiquement recevable après avoir été rejetée dans le règne de la pure métaphysique spéculative.

Commentaire sur le perspectivisme physique et sur son dépassement
On reconnaît - notamment depuis les révolutions : relativiste et quantique - que l'attitude qui consiste à ne pas se limiter à un unique point de vue, pour tirer une conclusion scientifique, confère à la science une certaine robustesse et constitue en quelque sorte son « cercle vertueux », à la base du perspectivisme scientifique, à ne pas confondre avec un quelconque relativisme où chacun aurait sa vérité ! C'est ainsi qu'en montrant que les deux points de vue : variationnel et géométrique qui, malgré leurs différences, aboutissent - de façons plus ou moins directes - aux mêmes interprétations et conclusions, on considère que cette convergence fournit à la science un critère solide et fiable assurant sa validité et la véracité de ses propos.

Or, on a vu que si ces jeux de miroirs qui révèlent chacun une facette (perspective ou point de vue) d'un même objet constituent un « cercle vertueux » pour l'exploration, ils peuvent aussi générer un « cercle vicieux » pour l'explication. Pour éviter ce problème et accéder à un « cercle vertueux », tant pour l'exploration que pour l'explication, le développement d'un cadre « hors points de vue », susceptible d'engendrer les points de vue qui lui sont appropriés, en est le meilleur garant. Et c'est précisément ce qu'on cherche à transmettre à travers cette étude.

Remerciements : Je voudrais remercier Claude-Alain Risset et Michel Devel pour leurs remarques et critiques, avec une pensée particulière pour Jean Merker qui nous a quitté récemment et qui, lorsqu'il était responsable du Séminaire « Epiphymaths » - il y a déjà plus de trente ans - m'avait ouvert l'esprit sur divers domaines (voir ci-dessous : Points clés…), en allant toujours à l'essentiel, complétant ainsi ma formation scientifique initiale et mes recherches en physique des systèmes complexes (*Interactions électro-magnéto-thermo-mécaniques, avec processus irréversibles et phénomènes dissipatifs, en présence de surfaces singulières et interfaces*).

Points clés à propos d'idées élaborées et discutées avec Jean Merker

Au-delà de ses exposés divers et variés tant sur la mécanique quantique (Bohm, Von Neumann, expériences d'Aspect, nature du Ψ…) que sur d'autres domaines (Analyse Non Standard, Théorème de Gödel, Théories : des groupes, des catastrophes et des catégories, Géométrie algébrique de Grothendieck, structuralisme de Levy-Strauss…), Jean Merker était sensible à certaines idées du passé, comme celles de Leibniz, tant pour ce qui est de ses infinitésimaux - réhabilités dans le cadre de l'ANS (Analyse Non Standard) de A. Robinson, que pour ce qui est de sa dynamique autonome, ravivée par C. Comte qui a approfondi l'approche de J. P. Provost et J. M. Levy-Leblond, fondée sur un théorème issu de la théorie des groupes. Cette théorie remonte à Évariste Galois, auquel Jean Merker a consacré un livre intitulé : « *Du trinôme du second degré à la théorie de Galois - une croisière conceptuelle* ».

La compréhension de Jean Merker de la dynamique moderne, présentée dans l'article de C. Comte intitulé : « *Sur quels principes peut-on édifier une mécanique vraiment rationnelle ?* » m'a été d'un grand secours. Sa présentation lumineuse tant au Séminaire que lors de nos réunions et discussions privées m'avait ouvert les yeux sur la possibilité d'une dynamique autonome. Une telle dynamique, indépendante de toute métrique spatiotemporelle, n'est pas facile à assimiler quand on a été formé dans le cadre habituel de la physique spatiotemporelle, fondée sur une cinématique préalable. Il est, en effet, plus simple d'apprendre directement du nouveau que de désapprendre pour réapprendre ensuite, tant il est difficile de se libérer du poids des habitudes acquises.

Il y a dans l'approche nouvelle de la dynamique de C. Comte, qui se réclame de Leibniz (opposé à Newton), un changement conceptuel majeur où l'on passe d'une philosophie de l'être, le mouvement étant défini usuellement par le rapport d'une longueur sur une durée, à une philosophie de l'acte, le mouvement étant défini désormais par la manière dont il se comporte (ou, plus précisément, se compose lors d'un changement de référentiel). C'est grâce à Jean Merker que j'ai appris que cette manière d'aborder la dynamique était plus en phase avec les exigences de la mécanique quantique (étrangère à mon parcours scientifique) où les notions d'espace et de temps semblent poser plus de problèmes qu'elles n'en résolvent.

Après avoir compris certains aspects et admis d'autres j'ai pu établir un lien avec ma démarche, issue de ma formation scientifique à l'école française de mathématiques et de mécanique théorique ; démarche formulée à travers la version scalaire de la méthode géométrique, fondée sur la notion de dualité. Celle-ci étend et généralise la version vectorielle (fondée sur la notion de force) ainsi que la formulation variationnelle de Lagrange et Hamilton. En termes physiques, il s'agit du « *principe des puissances virtuelles* » qui étend et généralise le « *principe fondamental de la dynamique* » ainsi que le « *principe de moindre action* ».

Ayant remarqué mes lacunes en philosophie des sciences, Jean Merker m'avait conseillé de m'y atteler ne serait-ce que pour mieux saisir l'approche de C. Comte dont la thèse de doctorat se réfère explicitement à Leibniz. C'est ainsi que j'ai commencé à assister puis à participer à divers congrès d'épistémologie et de philosophie dont ceux consacrés à Leibniz, avec une attention particulière pour la période pré-newtonienne qui sépare Galilée de Newton ; période souvent occultée par les physiciens ! Elle est pourtant riche en informations relatives à l'émergence de la philosophie mécaniste, avec Descartes et ses contemporains, suivis, améliorés et prolongés par Newton et ses successeurs. Ceci m'a aussi amené à suivre, à la faculté des lettres de Besançon, (en auditeur libre), les cours de philosophie consacrés à Descartes et Leibniz, enseignés par Thierry Martin (à l'époque, président de la société de philosophie des sciences).

Tout cela m'a permis de découvrir l'existence de débats et controverses sur divers points de vue qui s'affrontent à propos de la dynamique et plus généralement de la rationalité scientifique. Il y a ceux qui, comme J. M. Lévy-Leblond et beaucoup de physiciens, placent les différents points de vue sur un pied d'égalité, d'autres, comme C. Comte et certains épistémologues, considèrent qu'il existe un point de vue supérieur, constituant la vraie rationalité scientifique et d'autres encore, comme un certain nombre de physiciens-mathématiciens, établissent une hiérarchie entre les points de vue sans être en mesure de s'accorder sur celle-ci.

Si ma formation initiale tendait à me faire pencher vers ce dernier cas de figure, mon intérêt croissant pour la philosophie de Leibniz et mes discussions avec Jean Merker et plus tard avec Claude-Alain Risset m'ont persuadé que pour couper court à tous ces débats et controverses, le mieux serait de développer une approche qui s'affranchit de tout point de vue et d'accéder ainsi à un « monde » dynamique intrinsèque (i.e. « hors points de vue »), susceptible d'engendrer les points de vue qui lui conviennent. Cette approche est si naturelle et souhaitable qu'elle a déjà été conceptualisée dès l'essor de la dynamique, à travers ce qui est connu sous le nom de « Perspectivisme leibnizien », mais n'ayant pas pu être formalisée à cette époque où le calcul infinitésimal était encore dans l'enfance, c'est l'approche réduite à une seule perspective (ou point de vue) qui a été adoptée et poursuivie jusqu'à nos jours, selon différentes versions, où l'on ne se détache d'un point de vue que pour s'attacher à un autre.

Mes discussions avec Jean Merker et plus tard avec Claude-Alain Risset m'ont convaincu de l'existence d'idées sans rides, pouvant être énoncées très tôt dans l'histoire de la pensée mais dont la formulation physico-mathématique peut rester enfouie longtemps avant d'éclore et le « Perspectivisme infini de Leibniz » est l'une de ces idées.

Complément d'information : *Pour plus d'informations sur la démarche supra-analytique (ou architectonique), il nous a semblé utile de fournir un résumé succinct des quatre articles [1-4] qui permettent de saisir divers points clés relatifs à cette démarche. En particulier, les deuxième et troisième articles montrent respectivement que selon la manière de s'y prendre, les différents points de vue apparaissent soit sur un pied d'égalité soit selon une certaine hiérarchie.*

Le premier article développe les principes de relativité et de conservation dans un cadre général où apparaissent, comme cas particuliers, les « mondes » de Newton, d'Einstein ainsi que ceux plus récents (Doubly Special Relativity, Finsler Geometry…). En particulier, le monde einsteinien est abordé selon une infinité de points de vue, dont quatre principaux incluant les trois solutions issues des points de vue usuels (fondés 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 de déduire non seulement les trois solutions (mentionnées ci-dessus), mais aussi les structures formelles, utilisées habituellement pour obtenir ces solutions. Lesdits principes analytiques, désormais déduits d'un cadre architectonique, deviennent des théorèmes architectoniques, émergeant sur un pied d'égalité.

Le troisième article montre que la forme générale (sous-déterminée) correspond à une structure couplée dont le découplage fournit un point de vue singulier, identifiable à la version scalaire de la méthode géométrique. Celui-ci s'avère être suffisamment riche pour permettre de déduire naturellement les autres points de vue analytiques, ce qui révèle une certaine hiérarchie entre les différents points de vue. En outre, cette structure formelle issue de la procédure de découplage présente des propriétés remarquables permettant l'émergence du cadre spatiotemporel qui n'est plus postulée mais déduit.

Le quatrième article reprend les résultats des trois précédents articles développés à (1 + 1) dimensions et les généralise à (1 + 3) dimensions, ce qui a permis, d'une part de répondre aux critiques légitimes de certains physiciens, d'autre part d'étendre sensiblement les possibilités relatives aux applications pratiques.

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.A. Risset : L'appropriation du monde, Bulletin de l'UDP, oct. 2022.

[6] C. Comte, « Sur quels principes peut-on édifier une mécanique vraiment rationnelle ? » 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] N. Daher, « Remèdes aux insuffisances de la rationalité analytique »

[12] N. Daher, « Démarche architectonique leibnizienne appliquée à la dynamique ».

Les articles [11] et [12] (détaillés, à visée pédagogique) sont consultables sur le site « Epiphymaths » (Séminaire : 2024 - 2025). Taper Séminaire Epiphymaths - Université de Franche-Comté, puis sélectionner les documents complémentaires du Jeudi 17 octobre 2024.

[13] N. Daher, G.A. Maugin, "Deformable semiconductors with interfaces. Basic continuum equations", Int. J. Engng. Sc. 25 (9), Sept. 1987.

[14] N. Daher, "On a general non integrable, multiple scale continuum energy formulation", Current Topics in Acoustical Research, 1, pp 159-168, 1994.

[15] 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