

Fondements d'une physique complexe

Présentation

Marc Halévy
 Septembre 2009
marc@noetique.eu

Les pages qui suivent, constituent un résumé introductif à notre mémoire portant le même titre. Un tel résumé, par définition, est incomplet et simplifiant. Sa seule intention est de présenter, sur un mode le plus pédagogique possible, une esquisse générale des concepts et de la logique du raisonnement qui ont présidé à cette tentative.

(Translated English version on the other side)

Constat

La physique classique – nous englobons sous ce terme toutes les théories qui ont fait et font les physiques newtoniennes, relativistes, quantiques et tous leurs dérivés – aboutit, aujourd'hui, à deux modèles standards : le modèle dit cosmologique issu principalement de la théorie de la relativité générale, et le modèle dit des particules élémentaires issu principalement de la théorie quantique. A leur côté, la thermodynamique et les théories de la physique statistique font figure de sous-produits, à une exception près : le notion d'entropie qui n'est pas réductible au complexe espace-temps-énergie mais fait appel, après Boltzmann, à la notion de configuration.

Le constat, aujourd'hui, est triple :

1. Chacun des deux modèles standards est pétri de contradictions internes qui obligent, pour sauver le modèle, à des contorsions conceptuelles et, surtout, mathématiques qui répugnent totalement au principe de parcimonie du "rasoir d'Occam" et qui, surtout, éloignent les théories d'un quelconque contact avec la réalité physique et l'expérimentable : le principe de non falsifiabilité de Popper n'y est désormais plus applicable. Peut-on alors encore parler de science ?
2. Ces deux modèles sont incompatibles entre eux et se dénoncent réciproquement, interdisant, dès lors, la possibilité d'une unification réelle – et non artificielle, par des artifices mathématiques sans signification physique – de la physique. L'univers étant "un", est-il concevable que la physique soit "deux" ?
3. Enfin, aucun de ces deux modèles standards n'offre l'ombre d'une quelconque possibilité de rendre compte des phénomènes complexes comme l'auto-organisation ou l'autopoïèse. Et pour cause : ces deux modèles sont strictement analytiques et réductionnistes : tous deux partent du principe que l'univers est un vaste assemblage de structures élémentaires, de forces élémentaires et de lois élémentaires, ces structures, forces et lois étant des données a priori, sorte de matériel génétique fixe dont l'univers aurait hérité – de qui ? – à sa naissance.

Si l'on suit la pensée épistémologique de Kuhn sur les mutations paradigmatiques en science, il ne faut pas être grand clerc pour prédire une bifurcation profonde et radicale, dans les temps rapprochés qui viennent. Notre ambition, dans ce travail, est de proposer

quelques pistes pour refonder la physique non en opposition, mais en dépassement de la physique classique.

Nous mesurons l'énormité de cette ambition : elle est à la mesure du désarroi théorique et, surtout, conceptuel que connaît la physique d'aujourd'hui. De plus, il nous paraît essentiel de libérer la physique de son esclavage mathématique : les mathématiques peuvent être une excellente servante, mais elles sont une délirante maîtresse. La physique doit redevenir une science du réel à part entière et refuser de n'être plus qu'une succursale mathématicienne.

Cohérence méthodologique

La science physique, telle une symphonie transgénérationnelle, est un processus complexe qui s'élabore depuis près de trois mille ans. Elle a connu ses psalmodies présocratiques, ses polyphonies coperniciennes, ses Bach newtoniens, ses Debussy einsteiniens, ses Schönberg quantiques, ses Boulez multiversels ou cordiens ...

Nous le verrons plus loin, comprendre un processus complexe, c'est en préciser l'intention, le territoire, la structure et la dynamique.

Afin d'avancer en cohérence avec cette structure méthodologique, il convient donc de décrire la mutation paradigmatique de la physique comme une bifurcation c'est-à-dire une réorientation conjointe des quatre dimensions intentionnelle, territoriale, structurelle et dynamique.

Réorientation de l'intention : il ne s'agit plus de mathématiser un modèle d'univers. Il ne s'agit plus de prédire, de prévoir – ou alors incidemment, dans les cas élémentaires et les configurations rudimentaires. L'indéterminisme est un des fondamentaux de l'univers complexe. L'émergence de propriétés holistiques est foncièrement imprévisible et imprédictible. Pour suivre René Thom, il ne s'agit plus d'expliquer du dehors, mais de comprendre du dedans. Il s'agit de décrire une logique à l'œuvre qui se construit sur elle-même, contrainte mais non déterminée par tous ses états antérieurs.

Réorientation du territoire : il s'agit d'intégrer, à part entière, comme fondateurs et non seulement comme accidents, les phénomènes complexes, non réductibles à leurs constituants. Il s'agit donc de transgresser les limites du mécanisme et d'entrer de plain pied dans une vision organiciste – et, donc, holistique - de l'univers.

Réorientation de la structure : il ne s'agit plus de formuler les lois invariantes de l'univers qui, au fond, ne reflètent que des idéalizations – donc des simplifications - successives selon une démarche très platonicienne. Il s'agit de sortir de la vision parménidienne de l'invariance de l'Être – qui fut le ressort intime et désespéré de toute l'œuvre d'Albert Einstein -, pour entrer dans une vision héraclitienne de la cohérence du Devenir. L'univers n'est pas un assemblage d'élémentaires, il est une logique globale en marche dont tous les élémentaires (les particules, les champs, les lois) ne sont que des manifestations particulières.

Réorientation de la dynamique : répétons-le, il ne s'agit plus de formaliser l'invariance de l'Être sous forme de lois mathématiques idéalisées, mais bien d'exprimer la cohérence du Devenir sous forme d'une logique d'accomplissement du processus cosmique global dont l'univers actuel n'est que la manifestation à l'instant présent.

Le point de départ capital est de ne plus considérer l'univers comme un objet, mais bien comme un processus dont nous faisons partie intégrante. Notre approche est évolutionniste au sens le plus radical de ce terme : "tout coule" ! Tout évolue, se transforme, se complexifie.

La suite de l'article se construira comme la montée d'un escalier¹, comme une succession d'étapes et de sauts, chaque saut faisant le lien entre deux étapes successives. Comme dit plus haut, un des points de départ essentiels est la prise en compte des phénomènes complexes. Il convient donc de commencer par là.

Etape n°1 : Complexité

On dira d'un phénomène qu'il est complexe dès que surgissent des propriétés émergentes qui sont des propriétés appartenant au tout sans appartenir à aucune de ses parties. Ces propriétés ne sont pas liées aux constituants mais bien aux interactions entre ces constituants. Par exemple, le goût ou la blancheur du sel de cuisine n'appartiennent ni au sodium, ni au chlore. De même, la transparence et la dureté du diamant n'appartiennent pas aux atomes de carbone. De même, la vie ou la pensée n'appartiennent pas, respectivement, aux molécules de la cellule ou aux neurones du cerveau ; elles s'appuient sur elles sans s'y réduire.

Le surgissement de ces propriétés émergentes est imprévisible : il serait impossible de prévoir le goût du sel avant de l'avoir fabriqué pour la première fois. Ces propriétés émergentes constituent un "plus" qui enrichissent la réalité d'un système : ce sont elles qui induisent que le tout est "plus" que la somme de ses parties.

Enfin, comme les propriétés émergentes – qui définissent et fondent la notion de complexité – naissent des interactions entre les constituants, toute méthode analytique et réductionniste visant à démonter le tout, à séparer ses constituants et à considérer le système comme un assemblage mécanique, détruit nécessairement ces propriétés émergentes et, avec elles, la complexité du système lui-même.

Saut n°1 : Autoréférence

Le premier principe qui nous a guidé dans notre recherche, est le refus obstiné de toute forme de donné "extérieur" à l'univers. Ce refus revient finalement à dire, très simplement, que tout ce qui existe dans l'univers n'est que propriété émergente de l'univers lui-même. Rien n'est donné ni du dehors, ni de l'avant de l'univers : philosophiquement, cette posture se nomme naturalisme ou spinozisme. Nous posons donc qu'il n'y a aucun donné a priori : ni espace, ni temps, ni énergie, ni matière, ni lois physiques, ni constantes universelles. Toutes ses notions caractérisent des produits du processus cosmique et non ses conditions.

Etape n°2 : Logique accumulative

D'où vient alors qu'il y ait des structures dans l'univers, des formes plus ou moins stables, des mouvements plus ou moins réguliers, des règles plus ou moins récurrentes ? D'où vient, en somme, qu'il y ait une organisation cosmique, une cohérence universelle, une harmonie du réel ?

¹ Nos langages sont unidimensionnels ce qui oblige à linéariser ce qui, en fait, est une démarche spirale qui s'appuie sur une base circulaire de trois fondamentaux : l'autoréférence, l'intention, les trois propensions et sur une logique : le principe d'élégance.

La réponse tient en un mot : accréation. Le processus cosmique est soumis à une logique accumulative : ce qui suit, est la résultante – contrainte mais non déterminée - de tout ce qui a précédé. Pour le dire autrement : le temps ne passe pas, il s'accumule. Pour le dire encore autrement : le fondement même de l'autoréférence est cette accumulation mémorielle qui, du chaos originel et des quelques accréations hasardeuses du début, a progressivement monté l'échelle des complexités par le biais du surgissement de propriétés émergentes.

Ce que nous sommes en train de dire est que le processus cosmique est un processus fractal qui, dès qu'il possède un motif quelconque, va construire sur lui un phylum où les innovations vont s'accumuler, selon une logique stable, jusqu'à ce que ce phylum épuise ses potentialités. Le proton, le neutron et l'électron, par exemple, sont des "fins de phylums", hadronique pour les deux premiers, et leptonique pour le dernier. On remarquera que la rencontre de ces trois "fins de phylums" pourra donner lieu à l'émergence d'une structure nouvelle appelée "atome" qui devient, elle-même, le motif sur lequel se construira de nouveaux phylums de complexité supérieure : la chimie, la cristallographie, la physique des matériaux et des fluides les étudient.

Comprenons bien ceci : l'univers se construit par accumulation comme l'arbre se construit, à sa périphérie (par le cambium), par accumulation de cernes successifs. De même, l'univers est un "arbre" fractal qui se construit par cette "couche" périphérique active que nous appelons le présent : il se construit en s'appuyant sur la totalité des "couches" inactives antérieures qui demeurent totalement et indéfiniment en lui. Notre conscience appartenant totalement à cette couche superficielle active qu'est le présent, nous sommes généralement incapables – sauf lorsque nous nous souvenons – de "voir" l'incroyable accumulation d'états qui nous porte. C'est cela la mémoire cosmique. C'est elle qui rend le développement autoréférentiel possible : la seule référence possible pour faire, est la somme de tout ce qui a déjà été fait. C'est cette accumulation mémorielle qui renferme les germes de tous les possibles pour le futur, certains résolument dans la continuité, d'autres radicalement originaux et inédits.

Saut n°2 : Intention

Le principe d'autoréférence implique qu'il faille considérer l'univers comme un processus autopoïétique global, c'est-à-dire un processus qui engendre de lui-même, pour lui-même et par lui-même tous les éléments nécessaires à son propre accomplissement : l'espace-temps, l'énergie-matière et les lois-constants sont des produits, des conséquences, des résultantes qui relèvent d'un processus de "cristallisation" structurelle, d'une recherche d'un optimum, d'un point d'équilibre homéostatique correspondant à cet optimum ; ils ne sont en rien des "donnés".

Par exemple, les lois et constantes de la physique semblent universelles et immuables tout simplement parce qu'elles reflètent une sédimentation mémorielle sur laquelle tout le reste, ensuite, s'est construit.

Mais d'où vient qu'il y ait accumulation ? Quel est ce moteur qui pousse l'univers à s'accomplir ? Quelle est le "vouloir" qui met en œuvre et en marche la logique accumulative et phylogénétique ? Fidèle à notre principe d'autoréférence, nous rejetons toute tentative d'aller chercher ce moteur hors de l'univers lui-même : toute tentation théiste est ainsi écartée. Seule demeure, alors, la voie immanentiste : ce "vouloir" est propre et intrinsèque à l'univers même. Il faut ainsi introduire la notion d'intention

immanente intrinsèque : l'univers est animé d'une seule intention fondatrice qui est celle d'aller au bout de toutes ses potentialités (passées ou à venir, natives ou émergentes, etc ...), celle d'épuiser tous ses possibles, celle de devenir tout ce qu'il est déjà en puissance.

Cette intention immanente est l'âme cosmique au sens étymologique de *anima* : ce qui l'anime. Elle précède toutes les émergences y compris l'espace et le temps, l'énergie et la matière, les lois physiques et les constantes universelles qui, tous ensemble, n'en sont que des produits.

Par parenthèse, l'introduction de la notion d'intention permet d'expliquer pourquoi l'émergence de formes complexes très sophistiquées comme la vie ou la pensée ont été bien plus rapides que si elles étaient dues au seul hasard : on trouve bien plus vite lorsqu'on cherche que lorsqu'on compte sur la seule chance de trouver.

Etape n°3 : Grandeurs intégrales

Comment caractériser un processus complexe ? Puisque l'espace et le temps sont des produits de son accomplissement, puisque le processus se crée lui-même de l'espace et du temps pour s'y accomplir, il faut définir un autre espace de représentation que l'espace-temps classique.

Cet espace de représentation sera donc un espace abstrait appelé espace des états ou espace des phases qui peut avoir un nombre grand, voire infini, de dimensions. L'accomplissement du processus y sera représenté par une trajectoire.

La question cruciale est celle-ci : puisqu'il n'existe aucun paramètre extrinsèque (comme l'étaient l'espace et le temps de Newton ou d'Einstein ou de Schrödinger), il faut partir de paramètres intrinsèques, caractérisant l'état du processus au départ de lui-même. Et puisque ce processus est global, non réductible à des constituants ou propriétés locales, il faut que les paramètres envisagés soient des grandeurs intégrales c'est-à-dire des grandeurs calculées par intégration sur la totalité du processus et de son histoire. Enfin, puisqu'il n'y a aucun référentiels extrinsèques donc aucune unité de mesure envisageable, il faut que les paramètres utilisés soient des nombres sans dimension, des propensions, c'est-à-dire des rapports entre la variation d'une grandeur intégrale et cette grandeur elle-même.

Soit X une grandeur intégrale, alors la propension selon X vaut $\delta X/X$ (soit $\delta \ln X$).

On remarquera que l'on entre ainsi dans le domaine des fonctions exponentielles (et de leur inverse, les fonctions logarithmiques) qui sont les seules fonctions autoréférentielles et autopoïétiques puisque la primitive et la dérivée d'une exponentielle est cette exponentielle.

Saut n°3 : Propensions

Tout processus complexe est animé de l'intention immanente de s'accomplir en plénitude. Cet accomplissement se réalise selon une logique qui lui est propre. Cette logique universelle est plurielle. Pour qu'elle puisse engendrer de la complexité, il faut qu'elle soit au moins ternaire (tout système binaire aboutit nécessairement toujours à une solution stationnaire, donc non évolutive). Pour satisfaire au principe de parcimonie, il faut qu'elle soit au plus ternaire.

Nous ferons donc l'hypothèse que la logique universelle d'accomplissement de tout processus complexe – et donc de l'univers lui-même en tête – est tissée de trois propensions.

Si l'on regarde l'équation de Newton, on trouve trois termes :

- une accélération qui traduit la cinétique du corps,
- une force qui traduit – on le sait depuis la théorie de la relativité générale – la géométrie du territoire de ce corps,
- une masse (ou charge gravitationnelle) qui n'est qu'un paramètre de forme du corps (comme le seraient sa charge électromagnétique, sa charge hadronique ou sa charge leptonique).

L'équation de Schrödinger procède du même ternaire :

- une fonction d'onde qui contient toutes les propriétés cinétiques,
- la masse, encore,
- un potentiel de force.

Les équations relativistes de base procèdent d'un même ternaire.

Nous généralisons et posons trois propensions universelles dont les combinaisons ouvrent à toutes les logiques processuelles globales ou particulières envisageables :

- Une propension volumique ou métrique qui engendre de l'espace-temps en lui donnant une géométrie, c'est-à-dire un tenseur (géo)métrique qui équivaut à un tenseur de forces (cfr. relativité générale) ;
- Une propension eidétique ou morphique qui engendre des structures évolutives ou des architectures organisationnelles dont relèvent les notions classiques d'entropie et de néguentropie ;
- Une propension dynamique ou cinétique qui engendre des transformations et des mouvements.

Pour reprendre la métaphore musicale, le processus complexe de composition symphonique nécessite la définition de trois axes :

- un territoire sonore structuré, matérialisé par la gamme des sons choisis et les tessitures et timbres de tous les instruments impliqués,
- une organisation musicale matérialisée par les lignes mélodiques et les modes et structures harmoniques,
- et un activateur matérialisé par le tempo rythmique qui donnera vie aux mouvements musicaux.

Mais , pour prolonger la métaphore, la symphonie s'arrêterait si la logique musicale ne se transformait en intention intrinsèque, tout simplement, parce que le dernier accord donné appelle déjà le suivant ... qui appelle le suivant ...

Ce ternaire s'applique à tous les processus réels. Ainsi, l'activité humaine se développe-t-elle selon trois axes principaux :

- un axe spatiotemporel qui pose un territoire de cohésion et de cohérence, et qui engendre la fonction politique,
- un axe paradigmatique qui pose une structure de valeurs et de croyances, et qui engendre la fonction noétique,
- un axe productif qui pose un ensemble d'activités et de modalités, et qui engendre la fonction économique.

Encore faut-il qu'il y ait une intention forte de construire une humanité durable et viable. N'est-ce pas le problème posé aujourd'hui ?

Etape n° 4 : Optimisation

Tout processus complexe se développe par la mise en œuvre des trois propensions universelles au service de son intention immanente d'auto-accomplissement. Ces trois propensions se combinent, interfèrent, se combattent et s'allient, etc ... De tout cela résulte une infinité de scénarii possibles d'accomplissement, enrichie d'une infinité de propriétés émergentes potentielles.

Quel est le critère qui favorisera telle combinaison plutôt que telle autre, tel scénario plutôt que tel autre ? Nous en posons deux que nous synthétiserons en un seul.

Le premier critère est celui de la simplicité maximale qu'il ne faut pas confondre avec la facilité maximale : la simplicité exige beaucoup d'intelligence et d'effort, beaucoup de subtilité et de frugalité. Derrière ce principe de simplicité, on reconnaîtra le principe de parcimonie d'Occam ou les principes de moindre action des Maupertuis, Lagrange ou Hamilton.

Le second critère est celui de la complexité maximale qu'il ne faut surtout pas confondre avec la complication maximale : la complexité induit un perpétuel enrichissement des possibles, une inépuisable fécondité. La complexité, à l'opposé de la complication, n'est absolument pas incompatible avec la simplicité ; tout au contraire.

L'alliance entre ces deux critères conduit à la notion d'élégance qui pose, en même temps, le recherche d'une simplicité maximale ET la recherche d'une complexité maximale.

Ainsi peut-on poser le principe d'optimisation qui guide le développement et l'accomplissement de tout processus complexe, l'univers entier y compris : le principe d'élégance maximale.

Saut n°4 : Mise en équation

Nous renvoyons au mémoire complet pour l'expression détaillée des linéaments de cette mise en équation.

En synthèse :

- on pose trois grandeurs intégrales V , E et D qui mesurent, respectivement, les dimensions volumique, eidétique et dynamique du processus étudié ;
- on pose $K = V.E.D$ comme mesure de la complexité globale de ce processus ;
- on traduit l'idée de l'optimisation autoréférentielle de cette complexité par l'équation $(\delta \ln)^\mu K = 0$ où $\delta \ln$ est l'opérateur "propension" et où l'exposant μ de cet opérateur indique à quel niveau de l'échelle de complexité on se place (il faut remarquer que toute la physique classique correspond au niveau $\mu=1$, c'est-à-dire que l'équation générale s'y réduit à : $\delta V/V + \delta E/E + \delta D/D = 0$: la somme des trois propensions y est nulle ce qui traduit bien la forme des états stationnaires et à l'équilibre que recherche la physique classique).

Cette mise en équation permet deux types de développement.

D'abord, il permet de voir comment les processus interfèrent entre eux. Il faut pour cela considérer que tout processus fait partie intégrante d'un processus plus vaste qui

l'englobe (qui est son milieu, en somme) et qu'il est aussi l'enveloppe de tous les sous-processus qui le constituent (ce sont ses fibres). Apparaissent ainsi les trois niveaux qui forgent l'accomplissement de tout processus : il y a le processus lui-même, il y a son milieu et il y a ses fibres. Chacun de ces trois niveaux respecte, pour soi, les principes d'intention, d'accomplissement et d'élégance, ce qui mène souvent à des conflits de logiques entre eux. Les propriétés émergentes apparaissent alors comme des processus de résolution de ces conflits.

Ensuite, notre mise en équation permet de tenter la connexion entre cette théorie-ci et les théories classiques de la physique. Mais pour ce faire, il est impératif de bien comprendre ceci : la physique classique se place au point de vue phénoménologique car elle étudie les états successifs des systèmes (des objets) qui ne sont que les manifestations des processus sous-jacents qui les engendrent. La physique complexe, elle, se place au niveau ontologique, c'est-à-dire qu'elle étudie la logique intrinsèque des processus eux-mêmes, sans se soucier des systèmes qui les manifestent. Le transcription des théories de la physique classique vers la théorie de la physique complexe implique dès lors un délicat passage de la phénoménologie à l'ontologie.

Ce passage exige la transcription d'équations intégrales et variationnelles en équations différentielles, ce qui n'est possible qu'en des cas particuliers et simplifiés.

Etape n° 5 : Triangle

Si, afin de schématiser, on pose chacune des trois dimensions/propensions processuelles sur le sommet d'un triangle équilatéral, on peut assez facilement comprendre que les physiques classiques se placent sur les côtés de ce triangle, alors que la physique complexe en occupe le centre.

Regardons le côté du triangle entre propension volumique (ou métrique, celle qui engendre de l'espace-temps et des forces) et propension dynamique (ou cinétique : celle qui engendre les mouvements). Il ne faut pas longtemps pour voir que ce côté du triangle est celui de la physique mécanique qui, effectivement, fait le lien entre force (courbure d'espace-temps) et mouvement, sans tenir compte de la forme et des organisations internes des corps qu'elle étudie.

Regardons maintenant le côté du triangle entre propension volumique (ou métrique, celle qui engendre de l'espace-temps et les forces) et propension eidétique (ou morphique : celle qui engendre les structures et les formes). Il ne faut non plus guère de temps pour voir que ce côté du triangle est celui de la physique thermodynamique qui, effectivement, fait le lien entre énergie (travail des forces) et entropie (ou néguentropie ou forme ou information), sans tenir compte des déplacements des milieux qu'elle étudie.

Regardons enfin le côté du triangle entre propension eidétique (ou morphique : celle qui engendre les structures et les formes) et propension dynamique (ou cinétique : celle qui engendre les mouvements). Il faut juste un peu réfléchir pour voir que ce côté du triangle est celui de la physique cybernétique (ou systémique) qui, effectivement, s'occupe des régulations c'est-à-dire fait le lien entre organisations (structures néguentropiques) et mouvements, sans tenir compte des forces externes.

Ces constats donnent la clé de la connexion entre la physique complexe et les physiques classiques, mécanique, thermodynamique et cybernétique. Il "suffit" de reprendre la

formulation la moins complexe de l'équation générale ($\mu=1$), de la transcrire au plan phénoménologique et d'y considérer, comme dans notre triangle schématique, que le pôle opposé au côté étudié a des effets négligeables.

Cette connexion passe par la généralisation de la formulation lagrangienne de la mécanique (formulation commune à la mécanique newtonienne, relativiste et quantique). Cette formulation est ensuite étendue aux branches thermodynamique et cybernétique, via l'introduction de fonctions équivalentes au lagrangien et nommées, respectivement, helmoltzien et wienerien.

Nous renvoyons au texte de notre mémoire pour les détails de ces calculs.

*

**