

PRINCIPLES OF A SECOND QUANTUM MECHANICS

PRINCIPES D'UNE 2^{ème} MÉCANIQUE QUANTIQUE

**A strongly improved second version replacing
arXiv :1310 :1728v1 [quant-ph], October 2013
French text with an incorporated more detailed English
abstract.**

Mioara Mugur-Schächter*

By use of a reference structure called infra-[quantum mechanics], a new representation of microsystems is constructed that is endowed with a theory of quantum measurements acceptable from all viewpoints. This new representation is called a second quantum mechanics.

288 pages, 8 figures (the figures from reproduced documents are not counted).

* Centre pour la Synthèse d'une Epistémologie Formalisée et adMCR
<http://www.mugur-schachter.net> ; <http://www.mugur-schachter.jimdo.com>

Abstract

This work is *not* a ‘reinterpretation’ of nowadays Quantum Mechanics. It consists of a new representation of microstates, fully reconstructed conceptually and formally, and freed of ‘interpretation problems’.

First a qualitative but formalized representation of microstates is developed – rigorously and quite *independently of the quantum mechanical formalism* – under exclusively epistemological-operational-methodological constraints. This is called ‘Infra-Quantum Mechanics’ and is denoted *IMQ*. The specific and definite aim of Infra-Quantum Mechanics is to endow us with a reference-and-embedding-structure expressly organized outside nowadays Quantum Mechanics, in a way such as to insure detailed and maximally efficient comparability with the current Hilbert-Dirac formulation.

This – and only this – can permit a clearly significant, exhaustive and coherent re-examination of nowadays fundamental Quantum Mechanics, of its inner structure as well as its global structure grasped from its outside.

By use of Infra-Quantum Mechanics, a critical-constructive examination of the Hilbert-Dirac formalism is first worked out, step by step. It thus appears that :

(a) Nowadays Quantum Mechanics is devoid of any explicit mathematical representation of *individual, physical, actual microstates*, even though the statistical-probabilistic predictions asserted by the theory concern precisely these physical entities.

(b) Nowadays Quantum Mechanics is simply devoid of a theory of measurement. What is now called ‘the quantum theory of measurement’ concerns clearly only one particular category of microstates –those that do not involve quantum fields – and for this particular category it is found to be unacceptable as much from a mathematical point of view as from a conceptual one. So we are confronted with the question :

What significance can be assigned to a theory of microstates that cannot be directly perceived, if it does not include a general and fully acceptable theory of measurements ?

This question leads to a thorough investigation on the conditions required by the possibility to specify the content and the result of an act of measurement achieved upon a microstate, of a ‘mechanical’ quantity assigned to this microstate by postulation, and to make *verifiable* predictions concerning the statistical results of such acts of measurement. This investigation brings forth that inside the Hilbert-Dirac mathematical framework such conditions can be realized only for the particular category of microstates that do *not* involve quantum fields.

Whereas for microstates that do involve quantum fields it is unavoidably necessary to make explicit conceptual use of de Broglie’s ‘wave-corpuscle’ model of a microstate. This recourse, however, can become conclusive only if the de Broglie-Bohm ‘guidance trajectories’ can be observed experimentally.

We have proved that – contrary to what is believed – the de Broglie-Bohm representation of microphe- nomena is in fact formally compatible with observability of a guidance trajectory. Retroactively this proof can be incorporated to the category of experiments called “weak measurements”. So we propose an experiment from this category for establishing whether yes or not the observability of a guidance trajectory can also be physically realized for heavy microsystems. A way of realizing this experiment is thoroughly described inside the mentioned proof of formal compatibility.

In order to achieve and close our conceptual exploration, we have then admitted by hypothesis that the mentioned physical observability of the guidance trajectory of a heavy microsystem has been established. On this basis, a theory of quantum measurements is delineated that takes into account all the categories of microstates, free or bound, and involving quantum fields, or not.

The general principles of the new representation of microstates that incorporates this theory of quantum measurements are then explicitly stated. This new representation of microstates is called ‘a second quantum mechanics’ and is denoted *QM2*.

Inside *QM2* all the major problems raised by the current Hilbert-Dirac formalism, vanish. *QM2* is directly rooted into the individual, physical, actual factuality. This, while it permits insertion in the mathematical representation, on the other hand entails *operational-predictional independence with respect to the mathematical representation specific of QM2*. At the time of Big Data this is seems useful.

QM2 is an intimate synthesis between Infra-Quantum Mechanics, the Hilbert-Dirac formulation of Quantum Mechanics, and a variant of the de Broglie-Bohm representation of microphe- nomena that is drawn into observability via explicit connection with Infra-Quantum Mechanics.

La construction exposée dans cet ouvrage
est dédiée à mon Maître

Louis de Broglie

dont le modèle séminal ‘onde-particule’
a fondé la Mécanique Quantique
et permet de la re-fonder
presque 90 ans plus tard

Reconnaisances et Remerciements

Ni ce travail ni mon entière œuvre n'auraient pu se constituer sans le très long soutien, constant et ferme, de Sully Schächter, mon mari.

Je remercie de tout cœur mes fils François et Vincent pour leur indéfectible présence.

Je remercie vivement tous ceux qui m'ont témoigné confiance, et tout particulièrement Henri Boulouet, Geneviève Rivoire, Jean-Marie Fessler et Jean-Paul Baquiast.

Les échanges professionnels sur fond d'amitié m'ont été singulièrement précieux : ma reconnaissance très vive va vers Geneviève Rivoire.

Neuilly-sur-Seine, 17 juin octobre 2014.
Mioara Mugur-Schächter

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
I L'infra-Mécanique Quantique	
Introduction à la Première Partie	5
1 Naissance d'un projet	6
1.1 Sur le processus d'émergence de la mécanique quantique	6
1.2 Une hypothèse	6
1.3 Un projet	7
1.3.1 Formulation du projet	7
1.3.2 Nouveauté du projet	8
1.3.3 Intermède : une conférence sur la localité en 1979	9
1.3.4 But latéral : réaction à un danger épistémologique	23
2 L'infra-mécanique quantique	24
2.1 Préalables	24
2.2 Comment introduire un microétat en tant qu'objet de description ?	25
2.2.1 Une opération de génération d'un micro-état	26
2.2.2 Étiquetage et communicabilité	27
2.2.3 Une décision méthodologique inévitable	29
2.2.4 Une catégorie particulière d'opérations de génération d'un microétat : Opérations de 'génération composée'	30
2.2.5 Mutation du concept de "définition" d'une entité-objet-d'étude	34
2.2.6 Une scission remarquable	36
2.3 Qualifier un microétat	38
2.3.1 Comment qualifions-nous habituellement ? Grille normée de qualifications communicables et consensuelles	38
2.3.2 De la grille usuelle de qualifications communicables, à une 'condition-cadre générale' pour la qualifiabilité d'un microétat	41
2.3.2.1 Préalables : Spécificités d'une opération de qualification d'un microétat	41
2.3.2.2 La codage-cadre d'espace-temps et la grille 'primordiale' de qualification d'un microétat	46
2.3.2.3 Descriptions transférées de base fondées sur des représentations de "grandeurs" importées de la conceptualisation classique	53
2.3.2.4 Conclusion sur 2.3.2	56
2.3.3 Deux conséquences du concept de grille de qualification applicable à des microétats	57
2.3.3.1 Qualifications de microétats et 'propriétés'	57
2.3.3.2 Retour sur la relation entre qualifications 'mécaniques' de microétats versus modèle	58
2.3.4 Conclusion globale sur les qualifications transférées primordiales de microétats, et modélisation de celles-ci	60
2.4 Description qualitative de microétats progressifs (non-liés dans une microstructure)	60
2.4.1 Annonce générale	60
2.4.2 Quelques définitions fondamentales	61
2.5 Construction d'une 'description' de microétat	63
2.5.1 Le caractère primordialement statistique des qualifications 'mécaniques' d'un microétat	64
2.5.2 Exigence de quelque stabilité des manifestations observées (consensus)	65
2.5.3 Exigences de spécificité face à m_G d'une loi de 'probabilité' $p(G, X_j)$, versus grandeurs mutuellement incompatibles	66

2.5.3.1	Questions concernant la spécificité des observations	66
2.5.3.2	Compatibilité mutuelle individuelle de deux aspects de qualification d'un microétat d'un seul microsysteme, versus spécificité des observations	67
2.5.4	La 'description' versus sa genèse produite par le concepteur-observateur	68
2.6	L'arbre de probabilité de l'opération de génération G d'un microétat	71
2.6.1	Le cas fondamental d'un microétat de un microsysteme et à opération de génération simple	71
2.6.1.1	Construction et résultat global	71
2.6.1.2	Le phénomène aléatoire isolé	75
2.6.1.3	Dépendances probabilistes non-classiques	76
2.6.1.4	Méta-phénomène aléatoire et méta-dépendances probabilistes	78
2.6.1.5	La logique de l'ensemble des événements d'un arbre de probabilité d'un microétat	80
2.6.1.6	Conclusion sur l'arbre de probabilité de l'opération de génération d'un seul microétat d'un seul microsysteme	80
2.6.2	Deux généralisations du concept d'arbre de probabilité de l'opération de génération G d'un microétat	80
2.6.2.1	L'arbre de probabilité d'un seul micro-état de deux ou plusieurs micro-systemes	80
2.6.2.2	L'arbre de probabilité d'un micro-état quelconque (à génération composée et à un ou plusieurs micro-systemes)	84
2.6.2.3	La généralité de l'absence de structure d'espace-temps dans l'effet observable global des actions cognitives qui engendrent une description de microétat	85
2.7	Conclusion générale sur le concept d'arbre de probabilité de l'opération G de génération d'un microétat	86
2.8	Remarque sur l'évolution d'un microétat	87
2.9	Le cas des microétats liés	88
2.10	L'infra-[mécanique quantique] (IMQ)	89
3	Problèmes d'interprétation qui émergent à l'intérieur de IMQ, leurs solutions, et les conclusions qui s'en dégagent	94
3.1	Problèmes sur la forme descriptionnelle $D_M/G, me_G, V_M/$ et réponses	94
3.1.1	Le désigné du symbole $D_M^o/G, me_G, V_M/$ peut-il être regardé comme une "description du" microétat me_G ?	95
3.1.2	Le problème de 'complétude' de la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$	96
3.1.3	Le problème du contenu 'ontologique' du concept de microétat	99
3.1.4	Le piège abyssal du réalisme naïf	100
3.1.5	Retour sur la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$	100
3.1.6	Probabilités primordiales versus probabilités classiques	104
3.1.7	Descriptions 'primordialement transférées' versus réalisme scientifique	106
3.1.8	Descriptions transférées primordiales versus le postulat déterministe	107
3.1.9	Une 'coupure' [IMQ-classique]	108
3.2	La source commune des problèmes 'internes' suscités par la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$	109
3.3	IMQ versus consensus	109
3.4	IMQ considérée globalement de son extérieur	110
3.4.1	Remarques générales sur espace, temps et géométrie	110
3.4.2	IMQ versus espace, temps et géométrie	112
3.4.3	IMQ versus la question de localité	113
3.4.3.1	La structure du théorème	113
3.4.3.2	La situation expérimentale actuelle	115
3.4.3.3	Les réactions actuelles à la situation expérimentale	115
3.4.3.4	La situation conceptuelle révélée par l'infra-mécanique quantique	115
3.4.3.5	Invalidation 'conceptuelle' du théorème de Bell	117
3.4.3.6	Conclusion sur le théorème de non-localité de Bell	119
3.5	Commentaire global sur le chapitre 3	119
	Conclusion de la première partie	122

II Principes d'une 2^{ème} Mécanique Quantique

Introduction à la deuxième partie	125
4 Rappel sommaire de MQ_{HD}	128
4.1 Les outils mathématiques	128
4.2 Les calculs dans (E, \mathcal{E}^*)	130
4.3 'Principes'	130
4.4 Transformations de base	131
4.5 Postulats	131
4.5.1 Les postulats de représentation	131
4.5.2 Le postulat d'évolution	132
4.5.3 Les postulats de mesure	132
4.6 Problèmes	133
4.6.1 Les problèmes mathématiques-conceptuels internes à MQ_{HD}	133
4.6.2 Problèmes extérieurs de relation entre MQ_{HD} et son environnement conceptuel	134
5 Comparaisons préparatoires globales entre IMQ et MQ_{HD}	136
5.1 Comparaison neutre de IMQ et MQ_{HD}	136
5.1.1 Comparaison des structurations globales de IMQ et MQ_{HD}	136
5.1.1.1 IMQ : contenus opérationnels-épistémologiques-méthodologiques, organisation conceptuelle explicite et étagée	136
5.1.1.2 MQ_{HD} : contenus mathématiques-algorithmiques, contenus conceptuels non-définis, niveau de conceptualisation quasi exclusivement statistique-probabiliste	139
5.1.2 Comparaison des procédures préconisées pour création et vérification des connaissances de base	141
5.1.2.1 Les procédures de IMQ	141
5.1.2.2 Les procédures de MQ_{HD}	141
5.1.2.3 Conclusion de la comparaison globale neutre	142
5.2 Comparaison critique de MQ_{HD} avec IMQ	142
6 Examens critiques-constructifs d'éléments de MQ_{HD}, par référence à IMQ	148
6.1 Préalables	148
6.2 Identification du modèle de microétat qui agit dans MQ_{HD}	149
6.2.1 Le faux problème de la non intégrabilité en module carré de tout ket propre	150
6.2.2 La signification d'un ket propre et conséquences	151
6.2.2.1 Signification	151
6.2.2.2 Conséquences	154
6.2.3 Un modèle IMQ - MQ_{HD} de 'G-onde corpusculaire' associable au concept de 'microétat'	156
6.2.4 Conclusion globale sur le point 6.2	160
6.3 L'opération G de génération d'un microétat comme spécificateur du sens physique-conceptuel d'expressions formelles de MQ_{HD}	160
6.3.1 Ket propres versus G	160
6.3.2 Ket d'état versus G	161
6.3.2.1 Décomposition spectrale d'un ket d'état ou 'superposition' de plusieurs ket d'état	161
6.3.2.2 Convention	164
6.4 Incompatibilité individuelle de grandeurs selon IMQ , versus le principe de Heisenberg et le 'principe de complémentarité' de Bohr dans MQ_{HD}	164
6.4.1 Caractérisations liées au niveau de conceptualisation individuel	165
6.4.2 Caractérisations liées au niveau de conceptualisation statistique-probabiliste	166
6.4.3 En clôture de 6.4	167
6.5 Les cas d'information insuffisante pour spécifier le ket d'état d'un microétat libre	168
6.5.1 Examen de quelques cas	168
6.5.2 Conclusion globale sur 6.5	172
6.6 Examen critique de la théorie des mesures quantiques	173
6.6.1 Refus de la théorie des mesures de von Neumann	174
6.6.2 Retour à la théorie originelle des mesures quantiques	175
6.6.3 Analyse critique de la représentation MQ_{HD} des processus de mesure sur des microétats	176
6.6.3.1 (Question-Réponse) numéro 1	177

6.6.3.2	(Question-Réponse) numéro 2	179
6.6.3.3	Conséquence de la réponse à la question Q_2 : Un premier postulat de codage	182
6.6.3.4	[Question-Réponse] numéro 3	183
6.6.3.5	[Question-Réponse] numéro 4	184
6.6.4	Conclusion sur 'la théorie des mesures' de MQ_{HD}	187
6.7	Conclusion globale sur le chapitre 6	187
7	Mesures Quantiques et émergence des Principes d'une 2ème Mécanique Quantique : MQ_2	189
7.1	Annonce	189
7.2	'Fonctions d'état' versus contenus physiques-conceptuels selon la catégorie de microétats	190
7.2.1	Fonctions d'onde individuelle et fonction d'onde statistique	190
7.2.2	Micro-états de un micro-système à opération de génération composée	193
7.2.2.1	Microétats à opération de génération composée liés dans une microstructure stable	193
7.2.2.2	Microétats progressifs à un microsystème, à opération de génération composée	195
7.2.3	Microétats progressifs, à un microsystème, à opération de génération non-composée	196
7.2.4	Catégorisation explicite des types de microétats	197
7.2.5	Conclusion sur 7.2	198
7.3	Deux éléments fondateurs pour la construction dans MQ_2 d'une théorie des mesures quantiques valide pour un microétat progressifs quelconque, sans ou avec champ quantique	199
7.3.1	Une assertion de consensus prévisionnel entre IMQ - MQ_2 concernant un microétat progressif quelconque	199
7.3.2	Un but concernant la représentation mathématique dans MQ_2 des microétats progressifs quelconques	203
7.4	Construction factuelle-formelle dans MQ_2 d'une théorie des mesures quantiques valide pour un microétat progressif et sans champ quantique	204
7.4.1	Conservation du théorème de Gleason	205
7.4.2	Symbolisations préliminaires à la construction factuelle-formelle de ket d'états	206
7.4.3	Construction factuelle-formelle du ket d'état d'un microétat libre sans champ quantique	209
7.4.4	La théorie des transformations de Dirac et l'expression dans MQ_2 de la méta-loi de probabilité $Mlp(me_G)$ de IMQ	214
7.4.5	Sur le concept de loi d'évolution	216
7.4.6	Sur le postulat de Born et l'équation d'évolution de Schrödinger	218
7.4.7	Conclusion sur 7.4	224
7.5	Le problème soulevé par un microétat progressif avec champ quantique et une solution dans MQ_2 vers une théorie des mesures à validité générale	227
7.5.1	Impasse de codabilité et de vérifiabilité dans MQ_{HD} pour les microétats progressifs avec champ quantique	227
7.5.2	Principe d'une expérience qui peut débloquent l'action de construction de MQ_2	233
7.5.2.1	Une voie de principe	233
7.5.2.2	Une preuve de compatibilité entre la représentation de Broglie des microphénomènes et l'observabilité des traces de guidage	234
7.5.3	Proposition d'une expérience cruciale, 'EXP.1', et un pari	237
7.5.4	Conséquences majeures de l'observabilité présumée des traces de guidage	238
7.5.4.1	Première conséquence : Définition de successions de mesure codantes pour tout microétat progressif, avec ou sans champ quantique	238
7.5.4.2	Deuxième conséquence : Vérifiabilité des prévisions (23) face à (9'')	238
7.5.4.3	Troisième conséquence : Levée du blocage de l'élaboration de MQ_2	239
7.5.5	Représentation des mesures quantiques sur un microétat progressif à champ quantique non-nul et le problème des prévisions statistiques calculées	239
7.5.5.1	Contenus de la représentation	239
7.5.5.2	Commentaires globaux sur 7.5.5 qui pointent vers l'intégration prochaine de MQ_2	242
7.6	Le cas des microétats 'liés' de la catégorie $me(lie.Is)_{Gcomp-ch.q}$	243
7.6.1	Rappel des spécificités majeures	243
7.6.2	Comportement d'un microétat lié face aux actes de mesure	244
7.7	Retour final sur la représentation des processus de mesure selon von Neumann : 'décohérence [(microétat mesuré)-(appareil de mesure)]' versus décohérence de microétats	247
7.8	Un mot supplémentaire sur les microétats de la catégorie $me(prog.ns)_{Gnc, n \geq 2}$, à opération de génération non-composée, à deux ou plusieurs microsystèmes (cas de Bell)	250

7.9	Bilan du chapitre 7 : Une théorie des mesures quantiques définie dans $MQ2$ pour tout microétat, et émergence des principes et des contours globaux de $MQ2$	251
8	Intégration de la deuxième Mécanique Quantique $MQ2$	254
8.1	Mot d'introduction au chapitre 8	254
8.2	Préalables à la caractérisation globale de $MQ2$	254
8.2.1	<i>Les domaines-source de $MQ2$</i>	254
8.2.2	<i>La nécessité et le rôle de chacun des domaines-source dans la genèse de $MQ2$</i>	254
8.2.2.1	<i>MQ_{HD}</i>	254
8.2.2.2	<i>IMQ</i>	255
8.2.2.3	<i>La représentation dBB des microphénomènes</i>	255
8.3	Caractéristiques globales de la structuration de $MQ2$	256
8.3.1	<i>Adduction de contenus essentiels de dBB dans le processus de construction des connaissances 'scientifiques' de $MQ2$</i>	257
8.3.2	<i>Connexion explicite de $MQ2$ avec la formulation de Jacobi de la mécanique classique</i>	257
8.3.3	<i>Postulats et construits internes fondamentaux</i>	260
8.3.3.1	<i>Postulats</i>	260
8.3.3.2	<i>Construits internes fondamentaux</i>	260
8.3.4	<i>La structure interne de $MQ2$</i>	261
8.3.4.1	<i>Une strate conceptuelle-mathématique fondamentale de $MQ2$ valide pour des microétats progressifs quelconques.</i>	261
8.3.4.2	<i>Une strate formelle Hilbert-Dirac débordée factuellement pour la vérification, et à validité prévisionnelle dépendante de l'EXP.1</i>	266
8.4	Synthèse graphique : Les arbres de probabilité de $MQ2$	267
8.5	Conclusion du chapitre 8	270
9	La 2^{ème} MQ examinée de son extérieur	271
9.1	Universalité	271
9.2	Faits, mathématiques, et connaissances	272
	Conclusion Générale	273
	Bibliography	274

Introduction Générale

Dans sa préface au *Tractatus* Wittgenstein a écrit :

« The book will, therefore, draw a limit to thinking, or rather, not to thinking, but to the expression of thoughts; for, in order to draw a limit to thinking we should have to be able to think both sides of this limit (we should therefore have to be able to think what cannot be thought). »

Cette remarque capitale éclaire la situation plus localisée dans laquelle la pensée se trouve face à la mécanique quantique : Afin d'être capables de véritablement penser sur la mécanique quantique il faudrait pouvoir se placer fermement des deux côtés de celle-ci. Il faudrait se donner à la fois les moyens de la percevoir globalement, de son extérieur, et de soumettre sa structure interne à un examen pleinement assuré de *signifiance*, et consensuel, détaillé, rigoureux ; un examen cohérent de tous les divers points de vue pertinents. Cela devrait être possible, puisque la mécanique quantique n'est pas l'entière pensée, elle est dans la pensée.

Depuis 90 ans la représentation des microétats initiée dans la thèse de Louis de Broglie a conduit à des questionnements et des tâtonnements sans fin. On les a formulés à coup d'assertions d'impossibilités formelles non-restreintes et définitives, ou de mise en évidence de spécificités paradoxales dont il n'est pas clair si elles caractérisent le formalisme, ou les entités décrites, ou bien quelque relation entre les deux. Aux traits descriptifs nouveaux que l'on percevait sans en identifier les sources et le sens, Bohr a réagi radicalement, par une interdiction pragmatique mais arbitraire de tout modèle de microétat. Cette interdiction s'est imposée, et à ce jour même elle agit comme une indiscutable évidence. Mais sur le terrain qu'elle offre se sont formés des amoncellements de considérations obstructives troubles, de nature mélangée, des croissances pathologiques de rejet conceptuel. Cependant que tout autour de la mécanique quantique fondamentale, dans la physique atomique et nucléaire classique ainsi que dans la théorie des champs et des particules élémentaires, on modélise sans réticences, à tours de bras.

Et à tout moment donné de ces neuf dernières décennies, les attitudes, les questionnements et les réponses se sont pulvérisés contre un obstacle invincible : l'absence de *critères définis* pour estimer une 'représentation des microétats'.

A partir de la physique macroscopique, le mode classique de conceptualisation a été descendu tel quel vers le microscopique pour engendrer la physique atomique et nucléaire. Mais cette translation a fini par rencontrer des résistances incompréhensibles. Celles-ci ont suggéré à Louis de Broglie le modèle d'*onde corpusculaire* qui a conduit à une représentation des microétats marquée de spécificités foncièrement nouvelles. L'on y perçoit clairement une mutation dans la conceptualisation du réel physique. Le modèle d'onde corpusculaire a d'emblée poussé la pensée sur des pentes entièrement inconnues.

Des mathématisations d'urgence fondées sur le modèle d'onde corpusculaire – celles de Schrödinger, empreintes de génie – ont obtenu vite des succès spectaculaires. Mais, paradoxalement, ces mathématisations ainsi que les avancées explicatives et prévisionnelles

qu'elles comportent, cependant qu'elles incluent les traits essentiellement non-classiques du modèle d'onde corpusculaire, néanmoins sont encore fortement marquées par des caractères fondamentaux de la pensée classique macroscopique, et ceci introduit des incohérences fuyantes et sourdes.

Plus tard la refonte formelle de Dirac en termes d'espaces vectoriels de Hilbert a semblé avoir introduit un ordre formel général, clair, profond et durable, et une harmonie comme mystérieuse entre mathématiques et sens, qui court-circuiterait avec un succès étonnant les rôles d'une perceptibilité directe. Mais ce n'était qu'un leurre. En fait, les contenus de sens impliqués par cette mathématisation – les contenus physiques, opérationnels, conceptuels, épistémologiques – sont restés flous. A fortiori, la connexion entre ces contenus non définis et leurs expressions mathématiques, est restée non élaborée.

D'autre part la mathématisation elle-même a proliféré et s'est complexifiée, d'une manière largement indépendante des significations impliquées. Et finalement un noyau sémantique non déchiffré s'est trouvé enfermé dans un formalisme algorithmique épais et dense, une véritable citadelle formelle, initialement fabriquée dans un ailleurs conceptuel et plaquée ensuite hermétiquement autour des questions non-tranchées de signification spécifique au cas des microétats. L'entendement éprouve du mal à pénétrer dans cette citadelle. Pas l'action purement technique, l'entendement. Et si finalement, à la faveur de lentes familiarisations implicites, il arrive à y pénétrer, à l'intérieur il erre sur d'innombrables chemins de technicité, étroits et impitoyablement réglementés, sans avoir pu, à ce jour, s'en abstraire suffisamment pour trouver un état de satiété et de détente pour l'irrépressible besoin humain de *comprendre*. Car lorsqu'on tâche de répondre de l'intérieur de cette citadelle formelle, aux questionnements qui émergent, on manque de critères pour jauger la portée et les limites des arguments ; et même des questionnements. L'on se sent agressé par tout un amalgame confus d'impressions de lacunes de cohérence face à des contraintes plus vastes, non-définies. Mais ces impressions sont molles, fugaces, locales et de natures diverses, sans stabilité, ni unité, ni contour global. On ne peut pas définir la légitimité des impressions critiques, on ne peut même pas les nommer.

Cependant que de l'extérieur de la mécanique quantique on manque de tout terrain conceptuel aménagé d'une façon qui garantisse des *comparabilités*, qui puissent à leur tour assurer de la pertinence pour les conclusions.

Il n'y a aucun moyen de forger une vue structurée et bien définie concernant la théorie actuelle des microétats.

Alors on applique le formalisme, avec grande compétence calculatoire, dans un état d'acceptation passive imprégné d'une attitude idolâtre.

Mais on rouspète. On calcule et l'on rouspète et l'on discute.

À force de centaines de pages d'écritures mathématiques, l'on a discuté un élément de matrice que l'on n'arrive pas à annuler, cependant que, non-nul, il défie toute compréhension qui du moins dans son *principe* puisse être jugée rigoureuse. Et puis on s'est tu là-dessus. Mais jamais on n'est allé jusqu'à mettre en examen la représentation de base selon laquelle on a calculé.

On exprime sans cesse des foules de remarques et d'opinions où les critiques sont aussitôt compensées par des louanges, afin de rester bien-pensant.

On s'étonne, mais faiblement. On clame des réticences. On recense et l'on dénombre des points de vue. On s'évade subrepticement dans des approximations de toutes sortes qui contaminent les principes. Et même, l'on s'envole dans du 'métaphysique' afin de virevol-

ter un peu librement dans des espaces illimités et fabriquer malgré tout une sorte de brin d'intelligibilité.

Et l'on laisse courir ainsi, tout en louant constamment l'efficacité postulée du formalisme.

Il manque cruellement *un dehors de la mécanique quantique organisé comme une structure de référence exposée en pleine lumière*, qui déclare ses contenus et ses limites.

Là il serait possible d'acquérir sans hâte et sans obstacles confinants, une pleine maîtrise des significations, bien délimitée et stable. Et à partir de là l'on pourrait examiner d'une manière préparée et réglementée le *tout* de la mécanique quantique, son dehors global et la structure de son dedans, sans avoir à osciller entre un marécage extérieur de non-fait face à elle, et l'emprisonnement, à l'intérieur, dans un dédale d'algorithmes sévères hantés par des questionnements fantomatiques.

Mais en quoi donc pourrait consister une telle structure de référence ? Comment s'y prendre pour la construire ?

Je pense avoir pu répondre à ces questions. Pas par des affirmations et des négations, mais par une construction de A à Z. Pour des raisons qui apparaîtront j'ai dénommé cette construction *l'infra-mécanique quantique* ('infra' est à lire : 'en dessous du formalisme'). Cette construction se trouve exposée dans la première partie de ce livre.

La deuxième partie du livre contient un examen critique-constructif systématique de la formulation Hilbert-Dirac de la mécanique quantique, accompli par rapport à l'infra-mécanique quantique.

Cet examen impose quelques très grandes surprises. Et celles-ci conduisent à la proposition de deux expériences, l'une cruciale, et l'autre d'orientation de la construction conceptuelle.

Le résultat final consiste en la formulation des principes – les principes seulement – d'une deuxième mécanique quantique libérée d'incompréhensions et d'interprétations controversées.

Première partie

L'infra-Mécanique Quantique

La structure
épistémologique-(physique-opérationnelle)-méthodologique
sous-jacente à une représentation des microétats

*Ce premier fragment de la construction présentée ici est dédié à
Jean Mandelbaum
qui en a déclenché l'élaboration*

« Pour atteindre la vérité, il faut une fois dans sa vie se
défaire de toutes les opinions que l'on a reçues et
reconstruire, dès le fondement, tout le système de ses
connaissances. »

Descartes

Introduction à la Première Partie

Un observateur-concepteur humain qui veut construire des connaissances concernant un domaine donné de ce qu'il appelle 'réel physique', fait usage de fragments de ce réel physique, d'instruments, d'opérations, de *buts*, de manières d'agir.

Ce faisant, il subit des contraintes. Chacune de ces contraintes participe aux actions cognitives accomplies ; d'autre part, elle dépend de la structure et des fonctionnements psycho-physiques de l'observateur-concepteur lui-même et des choix des buts locaux ou globaux que celui-ci se donne.

Or *tous* ces éléments qui interviennent imposent leurs marques sur la connaissance construite. Il n'est pas possible de soustraire le processus de construction de connaissances, aux relativités génétiques qui agissent, ni de débarrasser a posteriori la connaissance construite, des effets de ces relativités. Enlever les échafaudages ne supprime pas ces effets.

En ces conditions, si l'observateur-concepteur veut rester véritablement maître des résultats de ses constructions, s'il veut les comprendre en ce sens pragmatique qu'il veut pouvoir les modifier s'il le souhaite afin de toujours les utiliser d'une manière optimale, alors il ne dispose que d'un seul moyen efficace : il doit savoir explicitement comment les résultats ont émergé et quelles dépendances relativisantes s'y sont incorporées.

Ces remarques peuvent paraître d'une triviale évidence. Ou bien au contraire, elles peuvent paraître fausses. Quoi qu'il en soit, le fait est qu'à ce jour il n'en a été fait aucun usage systématique. Or il m'est apparu comme vraisemblable qu'une explicitation patiente et rigoureuse de l'entière essence de la trame épistémologique, opérationnelle, méthodologique, qu'un observateur-concepteur humain doit tisser afin d'y piéger des 'connaissances' sur des entités physiques microscopiques que personne ne perçoit directement, engendrerait la structure de référence à partir de laquelle le formalisme de la mécanique quantique actuelle puisse être compris à fond et réorganisé.

C'est ce pari que je fais dans ce qui suit.

1

Naissance d'un projet

« Les mots techniques que l'on est obligé d'utiliser apportent, dans ces discours inhabituels, beaucoup d'obscurité sur le sens général. »

Vitruve

1.1. Sur le processus d'émergence de la mécanique quantique

La façon dont la mécanique quantique s'est constituée comporte un certain caractère qui est unique dans l'histoire des théories physiques : elle a émergé – longuement, entre 1900 et 1935 environ – d'une vraie petite *foule* de contributions d'auteurs différents. Bohr, Plank, Einstein, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born, Pauli, von Neumann, Dirac. Et j'en oublie un bon nombre. Or ces contributions (dont quelques unes ont même émergé d'une façon parallèle, pratiquement sans interactions) qui toutes ont été essentielles, chacune vraiment originale et de grande envergure créative, mais aussi fortement dissemblables, se sont finalement assemblées dans un tout parfaitement cohérent. Pourtant il serait difficile d'attribuer cette mise en cohérence à une personne déterminée dont on puisse imaginer qu'elle l'a surveillée à l'intérieur de son esprit individuel, par un type de processus que chacun peut imaginer par introspection. Comme, par exemple, on est porté à attribuer à Newton la mise en cohérence des données connues à son époque concernant le mouvement des corps macroscopiques, ou à Maxwell la mise en cohérence des données connues à son époque concernant les phénomènes électriques et magnétiques, etc.

Qu'est-ce qui assure donc la cohérence logique de cette foule de contributions qui se sont fondues dans le formalisme de la mécanique quantique ?

1.2. Une hypothèse

Le phénomène et la question mentionnés suggèrent une hypothèse : Ceux qui se sont attelés à la tâche de représenter les microsystemes et leurs états d'une façon qui puisse être tolérée à la fois par l'essence de la mécanique newtonienne et par la théorie macroscopique des champs électromagnétiques, se sont trouvés confrontés à une situation cognitive qui, à l'époque, était sans doute inusuelle à un point tel, que l'effort d'innovation nécessaire dépassait de loin les facultés d'une seule intelligence. Et même les capacités d'un seul génie. Mais d'autre part cette situation cognitive singulière imposait plus ou moins implicitement des contraintes tellement contraignantes, que celles-ci ont agi comme un moule commun qui a assuré un grand degré d'unité entre les résultats des différentes approches. C'est la situation cognitive qui a orchestré la construction de la mécanique quantique.

Placée sur un niveau supra individuel, intersubjectif, cette situation cognitive a remplacé d'une manière implicite le contrôle unificateur conceptuel-logique qui d'habitude

fonctionne explicitement à l'intérieur d'un seul esprit novateur. Omniprésente d'une manière extérieure et neutre, elle a agi comme un organisateur et un coordinateur.

Le formalisme qui s'est constitué ainsi n'exprime *pas* explicitement la situation cognitive qui l'a déterminé. Toutefois il a dû sans doute incorporer en état cryptique les contraintes qui l'ont modelé, puisqu'il est performant. Mais cela est courant. Pour toute théorie mathématique d'un domaine du réel physique, les choses se passent plus ou moins ainsi.

L'inhabituel, dans le cas de la mécanique quantique doit donc consister dans la nature particulièrement nouvelle et contraignante de la situation cognitive impliquée. Celle-ci, après avoir fait obstacle à la conception du formalisme par un seul physicien, et après avoir ensuite orchestré la construction du formalisme par tout un ensemble de physiciens, doit être aussi, par l'extériorité dans laquelle elle s'est maintenue face à tout esprit individuel, la raison pour laquelle, jusqu'à ce jour, le formalisme quantique est ressenti comme si peu compréhensible, même par les physiciens et théoriciens qui l'ont longuement pratiqué et y ont réfléchi à fond. Parmi les fondateurs eux-mêmes il serait difficile de trouver deux qui aient été entièrement d'accord sur les 'significations' incorporées dans le formalisme qu'ils ont contribué à créer.

Aucune autre théorie physique, pas même la relativité d'Einstein, n'a soulevé des débats aussi résistants concernant les significations. Ces débats subsistent et *évoluent* depuis plus de 70 ans, sans trouver des solutions qui soient acceptées de manière unanime. Le formalisme est là, cohérent et puissant. Mais aucun consensus n'a pu s'installer sur sa façon de signifier, ni, *a fortiori*, sur la question de savoir pourquoi cette façon de signifier est comme elle est et pas autre.

1.3. Un projet

1.3.1. Formulation du projet

L'hypothèse formulée suggère un projet : Faire abstraction du formalisme quantique et s'attacher à construire soi-même une représentation uniquement qualitative, mais qui mérite clairement d'être appelée une "description" – et en termes *mécaniques* (position, vitesse, etc.) – de ce qu'on conçoit comme correspondant à l'expression 'états de micro-systèmes'. Si l'on se place dans ces conditions de départ, de pénurie sévère, on sera forcé d'utiliser à fond le peu qui reste disponible et agit inévitablement. À savoir la situation cognitive justement. Et bien sûr aussi les traits qui caractérisent les modes humains de conceptualiser, nos capacités opératoires, les exigences de communicabilité et de consensus intersubjectif (sans quoi ne peut exister aucune activité consensus 'scientifique'), et le but de construire en termes qualitatifs l'essence sémantique d'une catégorie donnée de 'descriptions'.

En ces conditions, si l'hypothèse mentionnée, d'une détermination des spécificités majeures du formalisme quantique, par les contraintes qu'impose la situation cognitive, est correcte, ce qui émergera devra, avec une évidence indiscutable, être une expression qualitative d'une certaine essence sémantique des algorithmes quantiques tels qu'on les connaît.

Et une fois connue, cette essence sémantique offrirait un solide élément de référence pour comprendre les choix plus ou moins implicites qui ont conduit à la représentation mathématique des microétats, leur manière de signifier, et les lacunes de cette manière. Ce qui devrait permettre de dissoudre les problèmes d'interprétation.

1.3.2. *Nouveauté du projet*

On a énormément discuté la situation cognitive impliquée dans telle ou telle expérience particulière, souvent magistralement et très en détail. Einstein, Bohr, Schrödinger, de Broglie, Bell, Wigner, ont fait des analyses de cas très profondes dans le lit desquelles se sont ensuite précipité des torrents de gloses, de spécifications, ou simplement de fantaisies. Mais toutes ces analyses font intervenir le formalisme quantique tout autant que la situation cognitive spécifique du cas considéré. Les problèmes et les analyses considérés ont en général renvoyé même plus à l'expression mathématique des algorithmes quantiques, qu'à la situation cognitive qui a engendré l'essence sémantique de ces algorithmes. Ce mélange a piégé l'entendement. Il l'a empêché de s'extraire radicalement du formalisme et d'en pouvoir percevoir, isolément, les sources, la structure des racines qu'il a implantées dans la factualité physique, et les modes humains d'opérer et de conceptualiser qui ont agi.

Bref, il semble utile de construire a posteriori une genèse possible du formalisme quantique.

Le moment actuel y est peut-être beaucoup plus propice. Dans le passé, ceux pour qui le mot comprendre pointait malgré tout vers autre chose que l'application automatique d'un algorithme dont l'efficacité est établie, et qui ont recherché une approche qui puisse doter d'un caractère de nécessité les algorithmes quantiques et leur fonctionnement, sont tous restés isolés, même les plus grands comme Einstein, Schrödinger, et de Broglie.

Ce n'est que dans les années 1980 – exactement à partir du théorème de Bell concernant la question de 'localité'¹ – que les débats ont pris de la densité. Ce théorème impliquait des expériences réalisables qui pouvaient établir si oui ou non les microphénomènes sont 'non locaux', comme on acceptait que l'affirme le formalisme quantique. Tout à coup, tout le monde s'est mis à vouloir comprendre, ouvertement et avec une sorte de désespoir. La tension de bizarrerie introduite par ce qu'on appelait le caractère non local du formalisme quantique était brusquement ressentie comme insupportable. Cette nouvelle phase, imprévue, était comme la tombée d'un masque officiel. Ceux qui avaient soutenu qu'il n'était pas nécessaire de comprendre, dans le fond d'eux-mêmes avaient été convaincus qu'il n'y avait rien de vraiment important à comprendre : le formalisme n'est pas local parce qu'il est newtonien, non relativiste. D'accord. On y pense et puis on oublie. Car la réalité physique, elle, est certainement locale comme il se doit selon la relativité d'Einstein. Un point c'est tout. Tout est en ordre. Un formalisme utile à 99% est bon. Il faut être pragmatique. Mais les expériences ont été réalisées et elles ont confirmé les prévisions du formalisme quantique dans ce cas, spécifiquement. Elles les ont confirmé là où l'on ne voulait pas et on ne s'attendait pas qu'elles soient confirmées ! Du coup, il devenait urgent de comprendre cette situation. Ainsi le problème de l'interprétation du formalisme s'est finalement trouvé officialisé, institutionnalisé par un succès inattendu du formalisme.

A partir de là a commencé une phase nouvelle de communauté des questionnements et celle-ci a conduit à des bilans globaux qui se poursuivent. Désormais s'est installée une attention plus ou moins générale aux questions d'interprétation. Seule la persistance des questionnements de départ et l'accumulation de questionnements nouveaux ont pu conduire – dans une génération renouvelée de physiciens et penseurs – vers la claire perception d'un problème *global* de la signification du formalisme quantique ; un problème

¹ Si un événement qui se produit en un point donné d'espace-temps, en un ici-maintenant donné A , influence un événement qui se produit en un point d'espace-temps B qu'aucun signal lumineux issu de A ne peut atteindre, alors on dit qu'il y a 'non-localité' au sens de la relativité d'Einstein.

porté et mûri par le cours du temps (Laloë [2001]², Schlosshauer [2005]).

1.3.3. Intermède : une conférence sur la localité en 1979

Je pense que le document reproduit ci-dessous – extrait du volume *Einstein 1879–1955 (6–9 juin 1979), colloque du centenaire, Collège de France*, Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique – est intéressant et utile pour montrer l'état des choses en 1979 et qui, pour l'essence, perdure à ce jour.

² Ce compte rendu de la situation conceptuelle en 2011 – toujours entièrement actuel – est fascinant : particulièrement compétent, exhaustif face à la date de parution, profond, et véritablement frappant en tant qu'une présentation de l'extraordinaire Babel qui s'est tissé à partir, sans doute, de certains foyers de flous encore non identifiés. Je prends la liberté d'inciter à la lecture de ce compte rendu *avant* d'aborder la suite du travail présent.

EINSTEIN
1879–1955

Colloque du Centenaire
Collège de France
6-9 juin 1979

Organisé par le Ministère de la Culture et de la communication
avec le concours du CNRS

EXTRAIT

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



REFLEXION SUR LE PROBLEME DE LOCALITÉ

M. Mugur – Schächter

UNIVERSITÉ DE REIMS

B.P 347 51062 REMS CEDEX

(EXTRAIT)

But

Depuis huit ans ce que l'on appelle le problème de localité retient de plus en plus l'attention. Des théoriciens, des expérimentateurs, des penseurs pluridisciplinaires investissent des efforts importants pour élucider ce problème. Les aspects techniques – mathématiques et expérimentaux – ont été déjà examinés dans un grand nombre de travaux et ils sont bien connus de ceux qui font à ce sujet des recherches spécialisées. Mais la configuration conceptuelle qui est en jeu me paraît avoir des contours beaucoup moins définis. Le but de l'exposé qui suit est d'examiner cette configuration conceptuelle. J'essaierai de procéder à cet examen d'une manière aussi simple et frappante que possible, presque affichistique, à l'aide de schémas et de tableaux. Ces moyens me paraissent être les plus adéquats pour donner le maximum de relief aux insuffisances que je perçois dans la définition même du problème de localité.

Bref rappel.

Le paradoxe EPR (1935). Le problème de localité est soulevé par un théorème bien connu de J. Bell (1) qui se rattache à un raisonnement formulé en 1935 par Einstein, Podolsky et Rosen (2). Ce raisonnement, connu sous la dénomination de "paradoxe EPR", et été construit pour démontrer que le formalisme de la Mécanique Quantique ne fournit pas une description complète des microsystemes individuels. Les hypothèses qui constituent la base de départ du paradoxe EPR sont indiquées dans le tableau suivant (où des notations abrégées leur sont associées)³ :

Toutes les prévisions de la Mécanique Quantique sont vraies.	\forall MQ
La Mécanique Quantique fournit une description complète des microsystemes.	C (MQ)
La réalité physique existe indépendamment de l'observation. Elle est "déterministe" et locale (ou "séparable")*	\exists (r.d.l.)

fig. B1

Le "paradoxe EPR" consiste dans la démonstration du fait que les hypothèses énumérées ne sont pas compatibles.

L'interprétation proposée par Einstein, Podolsky et Rosen, de cette démonstration, a été la suivante : Les prévisions du formalisme quantique se montrent correctes. Il n'existe donc aucune base pour abandonner l'hypothèse \forall MQ. L'hypothèse \exists (r.d.l.) exprime un credo métaphysique que l'on est libre d'accepter ou de rejeter. Mais *si* on l'accepte, alors il faut l'adjoindre aux prévisions de la Mécanique Quantique. En ce cas la démonstration de l'incompatibilité du système d'hypothèses [\forall MQ + C(MQ) + \exists (r.d.l.)] oblige à abandonner hypothèse de complétude C(MQ). En d'autres termes cette démonstration oblige alors à accepter la possibilité d'une théorie déterministe et locale (TDL) des microphénomènes, où le formalisme quantique sera complété par des éléments descriptifs additionnels, des paramètres cachés (par rapport au formalisme quantique) déterministes et locaux (p.c.d.l.) qui permettent d'accomplir une description complète des microsystemes individuels. Cette description complète fournie par TDL doit être compatible avec la Mécanique Quantique – en vertu de l'hypothèse \forall MQ – et avec la Relativité, en vertu de l'hypothèse \exists (r.d.l.) qui se trouve intégrée dans la théorie de la relativité. Cette structure d'idées peut être représentée par le schéma suivant :

³ Les figure de ce texte seront dénotées par "fig.BX" où B se lit Bell et X est le numéro d'ordre de son apparition.

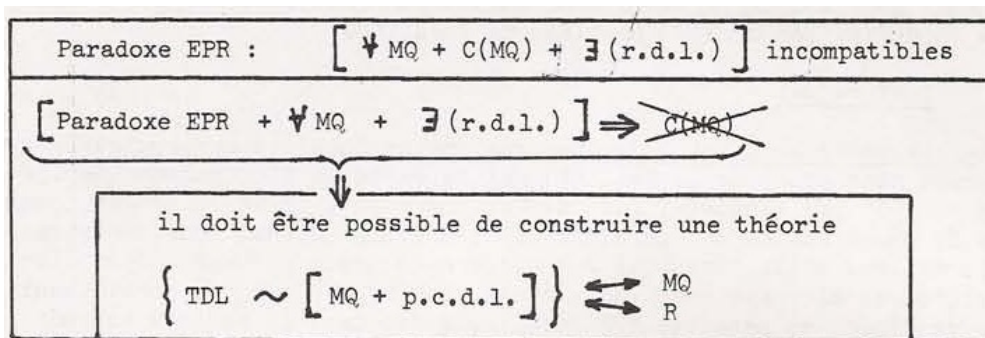


fig. B2

Les réactions pendant 30 ans. Les réactions ont été diverses. Pourtant la note dominante a été nettement celle du positivisme : l'hypothèse "réaliste" $\exists(\text{r.d.l.})$ est dépourvue de toute signification opérationnelle. Elle est donc essentiellement métaphysique, extérieure à la démarche scientifique. L'incompatibilité dénommée "paradoxe EPR" n'existe que par rapport à cette hypothèse non scientifique, et donc elle ne constitue pas un problème scientifique. Pour la science il s'agit là d'un faux problème.

Le théorème de J. Bell (1964). Trente années plus tard J.Bell a démontré un théorème qui semble contredire l'interprétation associée par Einstein Einstein, Podolsky et Rosen à leur propre démonstration. La conclusion du théorème de Bell peut s'énoncer ainsi (ou de manières équivalentes) : il n'est pas possible, à l'aide de paramètres cachés déterministes et locaux, d'obtenir dans tous les cas les mêmes prévisions que la Mécanique Quantique ; en certains cas, de tels paramètres conduisent à d'autres prévisions. Si alors on veut rétablir l'accord avec les prévisions de la Mécanique Quantique, il faut supprimer le caractère local des paramètres cachés introduits, ce qui contredira l'hypothèse $\exists(\text{r.d.l.})$, que la théorie de la Relativité incorpore. Par conséquent la théorie déterministe *TDL* compatible à la fois avec la Mécanique Quantique et la Relativité, dont Einstein Podolsky et Rosen ont cru avoir établi la possibilité, est en fait impossible.

La démonstration repose sur la production d'un exemple. On considère deux système S_1 et S_2 à spins non nuls et corrélés, créés par la désintégration d'un système initial S de spin nul. On envisage des mesures de spin sur S_1 selon trois directions a, b, c , à l'aide d'un appareil A_1 , et des mesures de spin sur S_2 selon ces mêmes directions, à l'aide d'un appareil A_2 qui peut se trouver à une distance arbitrairement grande de A_1 . L'hypothèse $\exists(\text{r.d.l.})$ est ensuite formalisée : des paramètres cachés sont introduits et ils sont soumis à des conditions telles qu'elles fournissent une traduction mathématique des qualifications de "déterministes" et "locaux". Ainsi la conceptualisation introduite auparavant au niveau d'une sémantique claire, mais qualitative, est élevée jusqu'à un niveau sémantique syntaxisé. Un tel pas est souvent important, car il peut permettre des déductions mathématiques à conclusions quantitatives. Et en effet Bell a démontré que l'hypothèse $\exists(\text{r.d.l.})$ ainsi formalisée entraîne nécessairement une certaine inégalité concernant les corrélations statistiques entre les résultats de mesures de spin enregistrés sur les appareils A_1 et A_2 . Or, cette inégalité n'est *pas* satisfaite par les corrélations statistiques prévues par la Mécanique Quantique. On pourrait retrouver les corrélations quantiques en supprimant la condition qui traduit mathématiquement le caractère "local" des paramètres cachés introduits, c'est-à-dire en renonçant à une partie de l'hypothèse $\exists(\text{r.d.l.})$. On exprime ceci en disant que, dans la circonstance considérée, "la Mécanique Quantique est non-locale" ou "implique des effets non-locaux" qui la rendent incompatible avec $\exists(\text{r.d.l.})$. Schématiquement, on peut résumer l'apport de Bell ainsi (en notant $(\text{p.c.d.l.})_B$ les paramètres cachés soumis aux conditions de Bell).

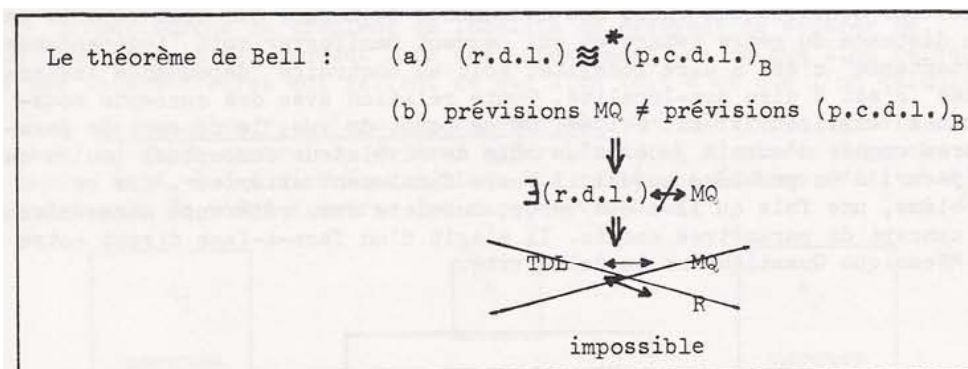


fig. B3

Comme les statistiques dont il s'agit sont observables, il est en principe possible d'établir expérimentalement si les faits physiques correspondent aux prévisions de la Mécanique Quantique ou à celles entraînées par les paramètres cachés déterministes et locaux au sens de Bell. C'est l'un des traits les plus forts du théorème de Bell.

Si l'expérience infirmait la Mécanique Quantique, la situation conceptuelle créée paraîtrait claire. On devrait admettre la possibilité d'une théorie déterministe et locale des microphénomènes, mais différente de celle envisagée par Einstein, Podolsky et Rosen, car elle n'obéirait pas à l'exigence d'identité prévisionnelle avec la Mécanique Quantique, pour tous les cas.

Mais un certain nombre d'expériences de vérification a déjà été fait et il se trouve que les résultats obtenus à ce jour – bien qu'ils ne tranchent pas encore définitivement – étaient fortement la supposition que la prévision de la Mécanique Quantique s'impose comme correcte.

Il s'agit donc de comprendre la situation conceptuelle qui semble s'établir et que l'on dénomme "problème de localité".

Interprétations

Le problème de localité est ressenti diversement. Je distinguerai en gros trois interprétations, en omettant ou en bousculant beaucoup de nuances.

1- Interprétations de refus. Un certain nombre de physiciens semble considérer cette fois encore qu'il s'agit d'un problème métaphysique qui n'existe que par rapport au concept non opérationnel de paramètres cachés, mais qui se dissout dès qu'on refuse ce concept. D'autres physiciens considèrent que le problème n'existe parce qu'il est faussement posé (3).

2- Interprétation minimale. Selon d'autres physiciens* (4), (5), (6), (7), etc..., le problème satisfait cette fois aux normes positivistes les plus draconiennes, parce qu'il conduit à des tests expérimentaux. Toutefois, ils refusent de conceptualiser au-delà de ce que ces tests mettent en jeu. Ils ne prennent en considération strictement que des corrélations statistiques entre des événements de mesure qui sont séparés par une distance du genre espace et qui peuvent manifester soit "indépendance instantanée" c'est-à-dire localité, soit au contraire "dépendance instantanée" c'est-à-dire non-localité. Toute relation avec des concepts sous-jacents "explicatifs" est évitée. De ce point de vue, le concept de paramètres cachés n'aurait qu'un rôle de révélateur conceptuel (ou de catalyseur) d'un problème auquel il reste finalement extérieur. Car ce problème, une fois qu'il a été perçu, subsiste sans référence nécessaire au concept de paramètres cachés. Il s'agit d'un face à face direct entre la Mécanique Quantique et de Relativité.

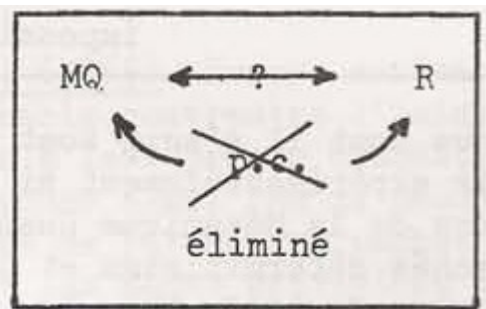


fig. B4

3- L'interprétation épistémologique. Il existe enfin une tendance (8) à connecter le problème de localité à notre conceptualisation la plus courante de la réalité, qui postule l'existence d'objets isolés possédant des propriétés intrinsèques et permanentes. La violation des inégalités de Bell serait incompatible avec ces suppositions. Il s'agirait donc en dernière essence d'un face-à-face entre la Mécanique Quantique et – à travers le concept de paramètres cachés et à travers la Relativité – des postulats épistémologiques fondamentaux.

* Je prie à l'avance ceux qui n'estimeraient pas appartenir à cette catégorie, de m'excuser.

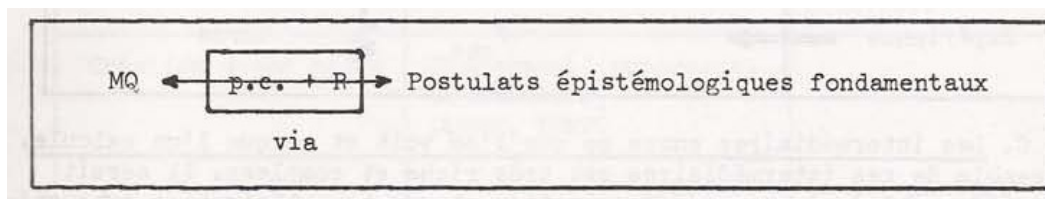


fig. B5

Je n'examinerai pas l'interprétation de refus, car elle ne peut conduire à aucun élément nouveau. Quant aux deux face-à-face impliqués par les deux autres interprétations, aucun d'eux ne me semble s'imposer dans la phase actuelle du débat. Seule une question ressort clairement :

Qu'est ce qui est en jeu – au juste – dans le problème de localité ?

L'examen qui suit montrera que, pour fixer une réponse, les conceptualisations existantes et les tests sur l'inégalité de Bell ne peuvent pas suffire. Inévitablement d'autres conceptualisations encore, et les tests correspondants, devront être abordés. Sinon, aucune conclusion définitive ne pourra être tirée, même si l'inégalité de Bell est clairement violée.

Le problème de localité et le terrain conceptuel sous-jacent Reconsidérons le problème de localité en essayant de séparer ce que l'on perçoit directement lors des expériences, de ce que l'on calcule, et des intermédiaires qui relie ce que l'on voit à ce que l'on calcule.

A. Ce qu'on voit lors des expériences. On voit (tous les détails mis à part) un objet central A_0 et deux appareils A_1 et A_2 placés à gauche et à droite de A_0 à des distances égales. Sur certaines parties de A_1 et A_2 apparaissent de temps à autres des marques visibles.

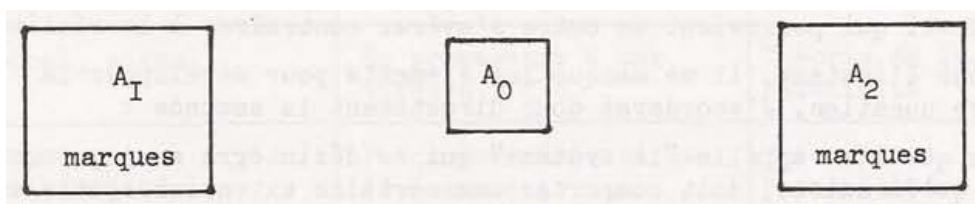


fig. B6

B- Ce qu'on calcule. On calcule des corrélations statistiques en employant trois sortes de distributions de probabilités conduisant à trois fonctions de corrélation, une fonction $F_{(TDL)B}$ caractéristique d'une théorie déterministe locale au sens de Bell, une fonction F_{MQ} obéissant aux algorithmes de la Mécanique Quantique, et une fonction F_{obs} correspondant aux statistiques observées. L'inégalité de Bell distingue $F_{(TDL)B}$ de F_{MQ} . L'expérience doit montrer si la réalité observée reproduit F_{MQ} ou $F_{(TDL)}$:

$F_{(TDL)B}$, F_{MQ} , F_{obs}	
Inégalité de Bell	$\Rightarrow F_{(TDL)B} \leq \text{borne} , F_{MQ} > \text{borne}$
Expérience	$\Rightarrow F_{obs} \stackrel{?}{\geq} \text{borne}$

fig. B7

C- Les intermédiaires entre ce qu'on voit et ce qu'on calcule. L'ensemble de ces intermédiaires est très riche et complexe. Il serait insensé de vouloir donner une énumération et une caractérisation exhaustive.

Je vais donc opérer une sorte d'échantillonnage, mais en distinguant entre les mots que l'on emploie, les concepts reliés à ces mots, et les organisations syntaxiques dans lesquelles ces concepts se trouvent intégrés.

(Voir tableau page suivante)

La colonne centrale de ce tableau est peut-être quelque choquante d'un point de vue positiviste. Mais de toute façon les paramètres cachés déterministes et locaux de Bell violent la pudeur sémantique dictée par le positivisme. Alors autant aller jusqu'au bout et avouer l'ensemble des questions sémantiques liées aux interprétations 2 et 3 du problème de localité telles que je les ai distinguées plus haut.

Je commence par l'interprétation minimale. Je perçois deux questions.

En premier lieu, les contenus sémantiques assignés aux qualificatifs "déterministes" et "locaux", tels qu'ils sont impliqués par la modélisation mathématisée de Bell, permettent-ils la représentation la plus générale concevable d'un processus d'observation d'un "microétat" à l'aide d'un "appareil" macroscopique ?

En second lieu, en supposant que la modélisation de Bell d'un processus d'observation n'introduit vraiment aucune restriction non nécessaire, quelle sorte de non-localité, exactement, la violation des inégalités de Bell démontrerait-elle ? La non-localité que la théorie de la Relativité interdit clairement, ou bien des prolongements spontanés et encore flous de celle-ci qui pourraient en outre s'avérer contraire à la réalité ?

Pour l'instant, il me manque les éléments pour développer la première question. J'aborderai donc directement la seconde :

Ce qu'on appelle "le système" qui se désintègre en A_0 , pour autant qu'il existe, doit comporter une certaine extension spatiale non nulle de départ $\Delta x_s(t_0) \neq 0$ (ce qui peuple ce domaine d'espace, est-ce un "objet" ou un "processus", ou les deux à la fois ? les définitions même manquant pour répondre). Ce qu'on désigne par les termes "désintégration" ou "création d'une paire S_1 et S_2 ", comment le concevoir ? Les mots indiquent dans le substrat conceptuel l'hypothèse d'un processus, d'une entité réelle en cours de changement. Pour exister, ce processus doit se produire quelque part et il doit durer, il doit occuper un certain domaine non nul d'espace-temps $\Delta s_c(t) \cdot \Delta t_c \neq 0$ (c : création) à l'intérieur duquel "le système de départ S " existe encore mais change cependant que S_1 et S_2 n'existent pas encore mais se forment.


MOTS	CONCEPTS	ORGANISATIONS SYNTAXIQUES
1 système	Macroobjet, objet	Logique des classes d'objets et des prédicats
Création d'une paire	Changement, processus, SUCCESSIONS, DUREE, TEMPS	
2 systèmes corrélés	Objets \leftrightarrow corrélés \rightarrow isolés	
Appareil	Macroobjet capable de réagir d'une manière significative avec un microsystème	
Spin	Propriété d'observation	
Mesure	Processus d'observation Événement de connexion entre microobjets et macroobjets	
Paramètres cachés	Propriétés intrinsèques et permanentes (d'objets ou de processus)	
Déterministe	Prévisible? A partir de quoi?	
Local, signal	Se propageant à une vitesse $v < c$	
Statistiques Probabilités	Phénomènes aléatoires (événements, processus, objets)	Théorie des Probabilités
Prévisions quantiques	Vecteurs d'états, algorithmes quantiques	Mécanique Quantique
Influence à distance	Changement transporté à vitesse $v < c$?

fig. B8

Dans l'écriture qui désigne ce domaine d'espace-temps, le facteur de durée $\Delta t_c = t_{12,0} - t_0$ se s'étend – par définition – d'une certaine "valeur initiale de temps" t_0 où le changement de création commence, jusqu'à une "valeur finale de temps" $t_f \equiv t_{12,0}$ à partir de laquelle "la paire S_1, S_2 de systèmes corrélés" commence à exister (des objets ? des processus eux aussi ? les deux à la fois ?). Quand au facteur d'extension spatiale $\Delta s_c(t)$, il semble obligatoire de concevoir, puisqu'il s'agit d'un processus, qu'il change en fonction de la "valeur de temps" t , avec ($t_0 < t < t_f$), en restant toutefois métastablement connexe tant que $t < t_f$ (c'est-à-dire tant que S subsiste encore et que S_1 et S_2 ne sont pas encore créés). Pour tout $t > t_f$, toutefois, ce domaine spatial devrait être devenu non connexe via une scission plus ou moins "catastrophique" conduisant à cette nouvelle forme de stabilité à laquelle on rattache l'expression "la paire S_1, S_2 de deux systèmes corrélés".

Je m'arrête un instant et je regarde ce que je viens d'écrire. Quel mélange de "nécessités" et d'arbitraire, de signes et de mots qui ont l'air de pointer vers un désigné précis et sous lesquels pourtant on ne trouve que des images floues et mouvantes accrochées à ces mots et ces signes de manière non séparée. J'écris entre guillemets "valeur de temps", par exemple, parce qu'à chaque fois que je réfléchis au degré d'exploration où se trouvent encore les concepts de durée et de temps et leur relation, je ressens une réticence à écrire quoi que ce soit en dehors d'un algorithme qui fixe une règle du jeu. La paramétrisation de la propriété fondamentale de durée à l'aide de la variable de temps t , telle que cette paramétrisation est pratiquée dans les théories existantes et même dans la Relativité, est encore certainement très simplificatrice et souvent falsificatrice, rigidifiante, mécanisante en quelque sorte. Les changements ne sont pas toujours des déplacements d'entités stables intérieurement. Pour pouvoir rendre compte pleinement de l'entière diversité des types et des intensités de changements, il faudrait une sorte de grandeur vectorielle, un *champ* de temps processuel défini en chaque point de l'espace abstrait encadré par l'axe de durée et par les axes des changements envisagés.

Mais un tel temps se transformerait-il selon Lorentz ? Quel rôle joue la vitesse d'un "signal" lumineux face aux vitesses de propagation "d'influences" (?) dans un tel espace processuel ? Qu'est ce que la Relativité impose véritablement aux processus *quelconques* et qu'est-ce qu'elle laisse en blanc ? Lorsqu'il s'agit de processus très "intenses" localement, "catastrophiques", comme l'est probablement la "création d'une paire", que devient "le temps" ?

En théorie relativiste générale de la gravitation, par exemple, un gradient non nul du champ de gravitation est lié à une impossibilité de définir un temps unique, pour les observateurs d'un même référentiel, si ces observateurs sont spatialement distants l'un de l'autre. Quand à l'invariance de la vitesse *de la lumière* elle-même (et non la vitesse d'autres sortes "d'influences") lorsqu'on passe d'un référentiel à un autre, elle n'est postulée que localement, car il n'existe aucune définition uniforme des distances et des temps dans des champs gravitationnels variables (9) (espace-temps courbes). Comment savoir quelle sorte de "courbure" locale de l'espace-temps est produite (ou non) par un processus – essentiellement variable – de création d'une paire ?

Enfin, la Relativité n'introduit aucune quantification au sens de la Mécanique Quantique, sa description est continue. Lorsqu'on écrit [vitesse = distance/temps], le temps est un paramètre continu.

Si ensuite on se demande comment on trouve la valeur de t , on s'aperçoit qu'elle est de la forme NT_H où N est un entier et T_H une période "d'horloge" (supposée constante !) ce qui ramène au discret. En macroscopie cela peut être négligeable aussi bien sur le plan du principe que sur le plan numérique. Mais lorsqu'on considère des processus quantiques et relativement très brefs, quel est le degré de signification d'une condition comme

$$v = \frac{\text{distance}}{\text{temps}} = \frac{\text{distance}}{NT_H} = \text{const?}$$

fig. B9

Quelle horloge faut-il choisir, avec quel T_H , et comment par ailleurs s'assurer que lorsqu'on écrit $\Delta t = 10^{-x}$, on fait plus qu'un calcul vide de sens ?

On comprend, devant de telles questions, les prudences positivistes et les normes qui conseillent de se maintenir dans la zone salubre de l'opérationnellement défini et du syntaxisé, où la pensée circule sur des voies tracées et consolidées. Au dehors, on s'enfonce dans une véritable boue sémantique. Pourtant ce n'est que là, dans cette boue, et lorsqu'on force le regard à discerner les formes mouvantes, que l'on peut percevoir du nouveau. De toute façon le problème de localité nous y force : c'est un problème très fondamental où tout comportement inertiel, inanalysé ou approximatif, conduit inéluctablement à l'arrêt de la capacité de raisonnement, ou à des problèmes et perspectives illusoire. On ne peut pas cette fois suivre un chemin parce qu'il est construit. On est obligé de choisir et de suivre la direction qui convient.

Je reviens donc sur la création d'une paire corrélée S_1, S_2 . J'imagine ce processus comme ayant des analogies avec la formation de gouttes. (Ceci peut être faux, mais ce n'est pas a priori impossible, et je n'ai besoin que d'un exemple de possibilité). Je dessine donc ainsi la projection spatiale (en deux dimensions) du domaine d'espace-temps $\Delta s_c(t) \cdot \Delta t_c$, $t_0 < t < t_f$, pour 4 époques :

- * $t = t_0$;
- * $t_0 < t < t_f$
- * $t_0 < t < t_f^-$ (c'est-à-dire immédiatement avant t_f) ;
- et $t = t_f^+$ (c'est-à-dire immédiatement après t_f)

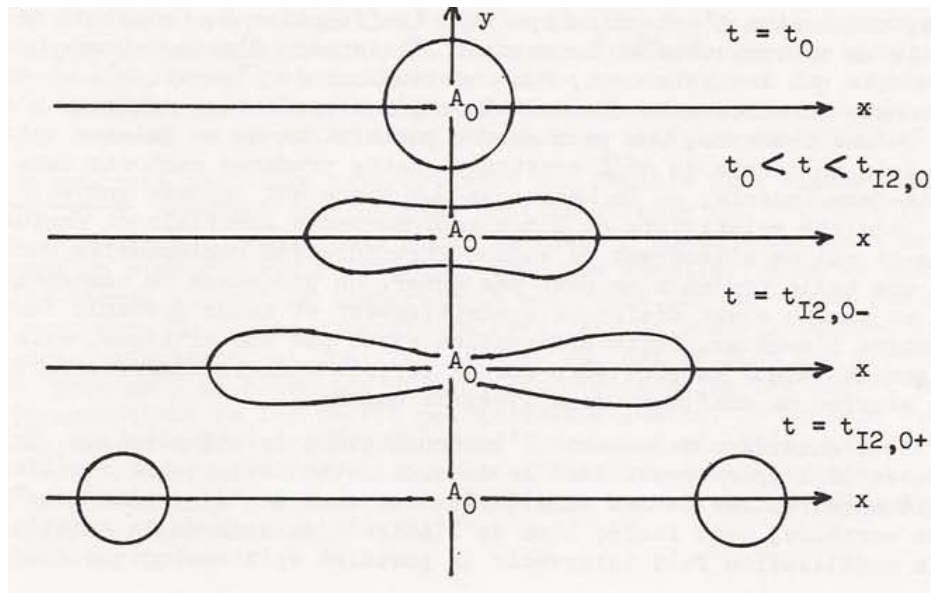


fig. B10

Supposons maintenant que la distance d_{12} entre les appareils A_1 et A_2 est plus petite que la projection maximale de $\Delta s_c(t)$ sur l'axe x correspondant à $t = t_f^-$.

Les appareils A_1 et A_2 seront donc atteints non pas par " S_1 " et " S_2 " respectivement, mais par " S en cours de désintégration", qui peut néanmoins déclencher des enregistrements sur A_1 et A_2 . Supposons encore que la durée des événements de mesure se trouve être telle par rapport à d_{12} , que la distance d'espace-temps entre les événements de mesure soit du genre espace. Enfin, supposons que, en dépit de tout cela, les événements de mesure ne soient pas indépendants au sens de Bell, c'est-à-dire supposons qu'un changement de A_2 puisse agir à une vitesse $v > C$ sur le résultat de l'un des enregistrements de A_2 . Les statistiques de résultats d'enregistrements sur A_1 et A_2 seront alors "non localement corrélées" et l'inégalité de Bell sera violée. Mais serait-il en ce cas justifié de conclure qu'on a démontré une contradiction avec la théorie de la Relativité ? La théorie de la Relativité ne statue que sur des "signaux" (quelle est exactement la définition ?) se propageant "dans le vide". Elle ne statue rien du tout concernant la transmission "d'influences" (définition ?) à travers un "système" (objet ? processus ?). En particulier, elle n'impose rien du tout concernant "l'ordre temporel" (?) ("causal" ou "non causal") (?) d'événements placés à des endroits spatiaux différents d'un même système". L'exemple imaginé – un modèle de "création d'une paire" – n'appartient tout simplement pas au domaine de faits que la Relativité décrit. Aucune théorie constituée ne le décrit encore. Pourtant cet exemple, quelles que soient ses inadéquations face à la réalité inconnue, caractérise certainement d'une manière en essence acceptable ce qui mérite la dénomination de processus de création d'une paire : un tel processus doit occuper un domaine non nul d'espace-temps, dont la projection spatiale, connexe au départ, évolue, devenant non connexe.

Cet exemple de possibilité me semble suffire comme base pour la conclusion suivante : les tests destinés à vérifier l'inégalité de Bell, même s'ils violaient définitivement l'inégalité, ne pourront jamais établir à eux seuls que le principe relativiste de localité a été enfreint. Pour préciser ce qui est en jeu, la modélisation de Bell et le test correspondant devront être associés à d'autres modélisations et à d'autres tests, concernant l'extension d'espace-temps des événements qui interviennent, non observables ("création") et observables (mesures). La minimalité de l'interprétation minimale n'est en fait qu'une prudence, une peur encore positiviste de se laisser entraîner trop loin en dehors du déjà construit. Cette prudence cantonne dans un face-à-face indécis, où la Mécanique Quantique est opposée indistinctement à la localité relativiste et à des prolongements

inertiels et confus de celle-ci qui ne s'insèrent en aucune structuration conceptuelle constituée. Mais une telle prudence ne peut pas durer. Un processus de conceptualisation en chaîne s'est déclenché subrepticement et aucun obstacle factice ne pourra l'arrêter. Cette affirmation n'est pas une critique, elle désigne la valeur la plus sûre que je perçois dans la démarche de Bell, et elle exprime ma confiance dans l'esprit humain.

Je considère maintenant l'interprétation épistémologique. Celle-ci s'avance déjà précisément dans le sens de cette inéluctable modélisation supplémentaire. Les termes considérés sont ceux de "1 système" et "2 systèmes corrélés mais isolés l'un de l'autre" (au sens de la Relativité). La modélisation supplémentaire mentionnée fait intervenir le postulat épistémologique courant d'existence de propriétés intrinsèques pour des entités réelles isolées. On déduit de ce postulat des inégalités du même type que celle de Bell, concernant des statistiques de résultats de mesures sur des entités supposées isolées. On établit donc une connexion entre des tests sur des inégalités observables d'une part, et d'autre part le postulat épistémologique d'existence de propriété intrinsèques pour des objets isolés au sens de la Relativité. Sur cette base on admet (il me semble ?) que la violation de l'inégalité de Bell infirmerait à elle seule la signification de la conceptualisation en termes d'entités isolées possédant des propriétés intrinsèques. Or j'ai montré ailleurs (10) (en termes trop techniques pour être reproduits ici) que cela n'est pas possible. Ici je ne ferai à ce sujet que quelques remarques qualitatives.

Tout d'abord, les considérations faites plus haut concernant la création d'une paire peuvent aussi se transposer d'une manière évidente au cas de l'interprétation épistémologique. Mais prolongeons encore autrement ces considérations : plaçons-nous cette fois d'emblée à l'instant $t = t_0$ où S_1 et S_2 sont créés. Pour $t > t_0$, S_1 et S_2 occupent maintenant deux domaines d'espace disjoints $\Delta_{S_1}(t)$ et $\Delta_{S_2}(t)$, qui s'éloignent l'un de l'autre et qui rencontrent ensuite respectivement les appareils A_1 et A_2 , produisant des interactions de mesure. L'interaction de mesure de S_1 avec A_1 est elle-même un événement qui occupe un domaine non nul d'espace-temps $\Delta_{s_{m1}}(t_{m1}).\Delta t_{m1} \neq 0$ (l'indice m se lit : mesure) où $t_{m1} \in \Delta t_{m1}$ et le facteur de durée Δt_{m1} dépend de l'extension spatiale $\Delta s_{m1}(t_{m1})$ liée à l'époque $t_{m1} \in \Delta t_{m1}$ (en supposant que cette extension spatiale reste constante au cours de l'époque $t_{m1} \in \Delta t_{m1}$). Il en va de même pour l'événement de mesure sur A_2 dont l'extension d'espace-temps est $\Delta s_{m2}(t_{m2}).\Delta t_{m2} \neq 0$. Comment définir maintenant la distance d'espace-temps entre ces deux événements de mesure ? Quelle que soit la distance spatiale fixée entre A_1 et A_2 , comment savoir si la distance correspondante d'espace-temps entre les événements de mesure est ou non du genre espace ? Car c'est cela qui décide si oui ou non la condition cruciale "d'isolement" réciproque de ces événements de mesure, se réalise, et c'est sur la base de cette condition que l'on s'attend à l'inégalité de Bell pour les statistiques des résultats enregistrés. Que la distance d'espace-temps entre les événements de mesure soit ou non du genre espace, cela dépend évidemment (entre autres) des facteurs d'extension spatiale $\Delta s_{m1}(t_{m1})$ et $\Delta s_{m2}(t_{m2})$. Or, que savons-nous de la valeur de ces facteurs ? S_1 et S_2 se déplacent-ils "en bloc", "mécaniquement", comme le suggèrent le modèle de de Broglie et le concept récent de soliton, ou bien s'étalent-ils comme le suggère le concept quantique courant de paquet d'ondes à évolution linéaire Schrödinger ?

On pourrait peut-être espérer avoir une réponse plus claire dans le cas où S_1 et S_2 seraient des photons "dont la vitesse est C ". Mais la vitesse de quoi ? Du front de l'onde photonique, oui, mais que penser du "reste" du photon ? Comment est fait un photon, comme un microsystème de de Broglie, avec une singularité et un phénomène plus étendu autour ? Le comportement manifesté par des ondes radio le laisse supposer. De quelle extension alors ? Dans la phase actuelle, que savons nous, exactement et individuellement sur ces entités que l'on dénomme "photons" ? La Mécanique Quantique newtonienne ne les décrit pas ; l'électromagnétisme ne les décrit pas individuellement. La théorie quantique des champs a été marquée, au cours des années récentes, par des essais "semi-classiques" dont le but est d'éliminer tout simplement la notion de photon afin d'éviter les difficultés conceptuelles liées aux algorithmes de renormalisation (11).

On peut donc conclure en toute généralité que, quelle que soit la distance spatiale fixée entre A_1 et A_2 (qu'il s'agisse de microsystèmes à masse non nulle au repos ou de photons), pour savoir si les événements de mesure sur ces microsystèmes sont séparés ou non par une distance d'espace-temps du genre espace, il faudrait connaître (entre autres) l'extension spatiale des états de ces microsystèmes, en fonction du temps.

Sans détailler plus des enchaînements logiques non essentiels, ces seules remarques suffisent pour indiquer la base de l'affirmation suivante.

A eux seuls, les tests de l'inégalité de Bell ne permettront jamais de conclure concernant la signification de l'assignation de propriétés intrinsèques à des entités réelles isolées au sens de la Relativité d'Einstein. Donc pour l'instant aucun face-à-face n'est encore défini entre la Mécanique Quantique et les postulats épistémologiques de notre conceptualisation courante de la réalité. Seule une direction de pensée est tracée, qui suggère l'intérêt de recherches nouvelles sur la structure d'espace-temps de ce que l'on appelle des microsystèmes individuels. Cette direction de pensée me paraît courageuse et très importante, mais dans la mesure où elle se reconnaît et s'assume. Elle s'associe alors naturellement à des recherches récentes sur l'extension des microsystèmes à masse non nulle au repos (12), (13) et sur le concept de photon (11). Il est très remarquable

de voir que toutes ces recherches se concentrent sur les phénomènes et concepts d'interférence. En effet c'est là qu'à travers le statistique peut apparaître l'individuel. C'est là que peut se trahir – si on l'y cherche – la confusion entre des interférences mathématiques de statistiques standard et d'autre part des statistiques d'interférences physiques d'une entité individuelle qui se superpose avec elle-même (14), (15).

A travers le problème de localité, j'ai dirigé volontairement les regards sur la couche sémantique qui se trouve sous les mots qu'on emploie. L'état de celle-ci est en quelque sorte l'objet principal de ces remarques. La boue sémantique au dessus de laquelle nous voltigeons salubrement d'algorithme en algorithme, accrochés à des cordes de mots, me paraît mériter d'être connue de plus près. Il faudra bien y plonger pour forger les concepts nouveaux qui manquent et en fixer les contours d'une manière qui permette de s'élever jusqu'à des syntaxisations.

Le concept d'objet au sens macroscopique de ce terme est cerné avec rigueur – bien que qualitativement – à l'intérieur de la logique des classes d'objets et de prédicats. Celle-ci est par essence une théorie des objets macroscopiques explicitement structurée et de généralité maximale. Mais cette théorie est foncièrement inapte à une description non restreinte des changements. En effet, la logique des classes d'objets et des prédicats est fondée sur la relation d'appartenance \in : si pour l'objet x le prédicat f est vrai, alors x appartient à la classe C_f définie par $f : f(x) \rightarrow x \in C_f$. Mais cette relation fondamentale d'appartenance \in est conçue au départ d'une manière statique, hypostasiée. Aucun aménagement ultérieur ne peut compenser les rigidités introduites ainsi au départ. La théorie des probabilités d'une part et d'autre part les différentes théories physiques (la mécanique, la thermodynamique, les théories des champs, la Mécanique Quantique, la Relativité) sont arrivées à combler cette lacune à des degrés différents. Mais chacune pour une catégories particulière de faits et par des méthodes implicites et diversifiées. Une théorie générale et spécifique des événements et des processus, une logique des changements absolument quelconques, à méthodologie explicite et unifiées, n'a pas encore été construite*.

Considérons maintenant de nouveau la logique des classes d'objets et de prédicats. Elle transgresse foncièrement l'individuel, puisqu'elle décrit des classes. Elle semblerait donc être vouée naturellement à une quantification numérique de type statistique ou probabiliste, à l'aide d'une mesure de probabilité définie sur les classes. Pourtant, à ce jour, une telle quantification numérique de la logique n'a pas pu être accomplie. Les "quantificateurs" logiques $\exists, \forall, \emptyset$, sont restés qualitatifs !

Complémentairement en quelque sorte, à ce jour, la théorie des probabilités n'a pas encore développé explicitement un traitement classificateur. Le concept fondamental employé est celui d'espace de probabilité $[U, \tau, p(\tau)]$ où $p(\tau)$ désigne une mesure de probabilité posée sur une tribu d'événements τ , définie sur l'univers $U = e_i, i = 1, 2, \dots$ d'événements élémentaires e_i . Cette tribu peut refléter, en particulier, une classification des événements élémentaires e_i commandée par un prédicat f et en ce cas des propriétés spécifiques "logiques" s'ensuivent pour l'espace $[U, \tau, p(\tau)]$. Via ces propriétés classificatrices, la connexion entre logique et probabilités pourrait être amorcée. Mais ceci n'a pas été tenté, et la connexion reste pour l'instant non élaborée.

Considérons maintenant la Mécanique Quantique. Elle introduit des espaces de probabilité. Pourtant les relations entre ces espaces sont telles que certains mathématiciens affirment que "la Mécanique Quantique n'est pas une théorie de probabilités". La connexion entre la théorie des probabilités et la Mécanique Quantique reste pour l'instant elle aussi très obscure.

D'autre part les relations de la Mécanique Quantique avec les divers concepts suggérés par le langage qu'elle introduit – 1 système, 1 système de 2 systèmes corrélés, etc. – restent elles aussi très obscures. La Mécanique Quantique n'indique en fait strictement rien concernant ces concepts tels que l'on pourrait vouloir les imaginer en dehors de l'observation. Même la probabilité de présence n'est qu'une probabilité de résultats d'interactions d'observation : il est permis par la Mécanique Quantique d'imaginer qu'un "système" qui fait une marque sur un écran à un moment t , se trouvait, en lui-même, aussi loin que l'on veut de cette marque, aussi peu que l'on veut avant le moment t . La Mécanique Quantique laisse parfaitement non conceptualisée en elle-même, "la réalité" dont elle codifie de manière si riche et détaillée les manifestations observables à travers les interactions de mesure.

Considérons enfin la théorie de la Relativité. Cette théorie est, à sa base, individuelle, non statistique, et continue, non quantifiée. En outre, elle décrit "ce qui est", bien que relativement à l'état d'observation. Sa connexion avec les espaces de probabilité à événements foncièrement observationnels et quantifiés de la Mécanique Quantique, soulève des problèmes bien connus et très résistants.

Ainsi nous sommes actuellement en possession de plusieurs structurations syntaxiques constituées, chacune très complexe, riche et rigoureuse. Mais ces structurations sont comparables à des icebergs émer-

* J'ai pu prendre connaissance d'une tentative originale et courageuse de formaliser la durée (16). Jusqu'ici seules les valeurs associables à la durée ("le temps") ont fait objet de certaines formalisations.

geant de la mer de boue sémantique, sous le niveau de laquelle les bords et les bases disparaissent. Quand à l'ensemble des concepts liés à la propriété fondamentale de durée, les concepts de processus, d'événement, de changement, de permanence, de succession, de TEMPS, ils n'agissent librement qu'à l'état épars, primitif et subjectif, tels que l'expérience et le langage les a diversement induits dans les esprits. Car les organisations auxquelles ces concepts ont été soumis à l'intérieur de la théorie de la Relativité, de la théorie des probabilités, ou à l'intérieur de telle ou telle autre théorie physique, sont toutes particularisantes et amputantes. La situation est encore telle que la décrivait Bergson : « La déduction est une opération réglée sur les démarches de la matière, calquée sur les articulations mobiles de la matière, implicitement donnée, enfin, avec l'espace qui sous-tend la matière. Tant qu'elle roule dans l'espace ou dans le temps spatialisé, elle n'a qu'à se laisser aller. C'est la durée qui met des bâtons dans les roues' » (17).

Je résume une fois encore par un schéma :

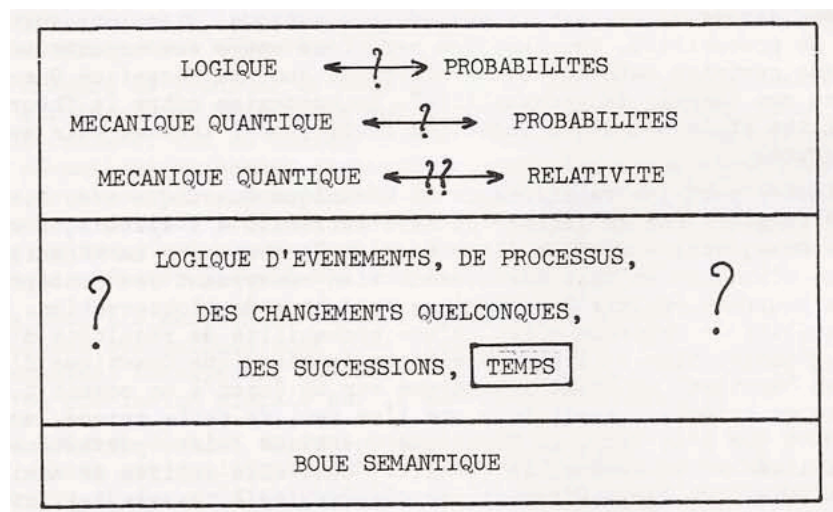


fig. B11

Quand il n'existe encore aucune unification entre la démarche statistique, discrète, observationnelle, orientée vers le microscopique, de la Mécanique Quantique, et d'autre part la démarche individuelle, continue, réaliste, orientée vers la cosmologie, de la Relativité, quant tout ce qui touche à la durée et au temps est encore si peu élucidé, quand tout ce qui touche à la manière d'être de ces entités que l'on appelle des micro-systèmes – ou plus encore, de microétats – est encore tellement inexploré, quel sens cela peut-il bien avoir d'affirmer qu'on se trouve – sur la base de tests de “non-localité” – devant un face-à-face contraignant, direct ou pas, entre la Mécanique Quantique et la Relativité ? Ou bien entre la Mécanique Quantique et notre conceptualisation du réel ?

Conclusion

Je ne puis qu'écartier, pour ma part, les face-à-face que les autres physiciens pensent percevoir. Pour moi la valeur du théorème de Bell réside ailleurs : ce théorème, et l'écho qu'il soulève, illustrent d'une manière frappante la puissance d'action des modélisations mathématisées, lorsqu'elles sont connectables aux tests expérimentaux. Pendant des dizaines d'années, les tabous positivistes ont fait obstacle aux modèles. Le résultat est ce vide vertigineux de modèles syntaxiques, et même seulement qualitatifs, que l'on découvre maintenant sous les algorithmes quantiques. Or, la modélisation de Bell a déclenché une dynamique de conceptualisation et de syntaxisation. Cette dynamique atteindra peut-être l'attitude positiviste. Elle ébranlera peut-être la Mécanique Quantique et la Relativité. Car elle attire et maintient longuement l'attention sur l'état du milieu conceptuel dans lequel les théories actuelles sont immergées. De ce contact prolongé sortiront peut-être des théorisations nouvelles, plus unifiées, plus étendues et plus profondes. Je perçois (ici comme en théorie de l'information) les premiers mouvements de formalisation de l'épistémologie, les premières ébauches, peut-être, d'une méthodologie mathématisée de la connaissance. Et cela pourrait s'avérer plus fertile que toute théorie particulière d'un domaine donné de réalité.

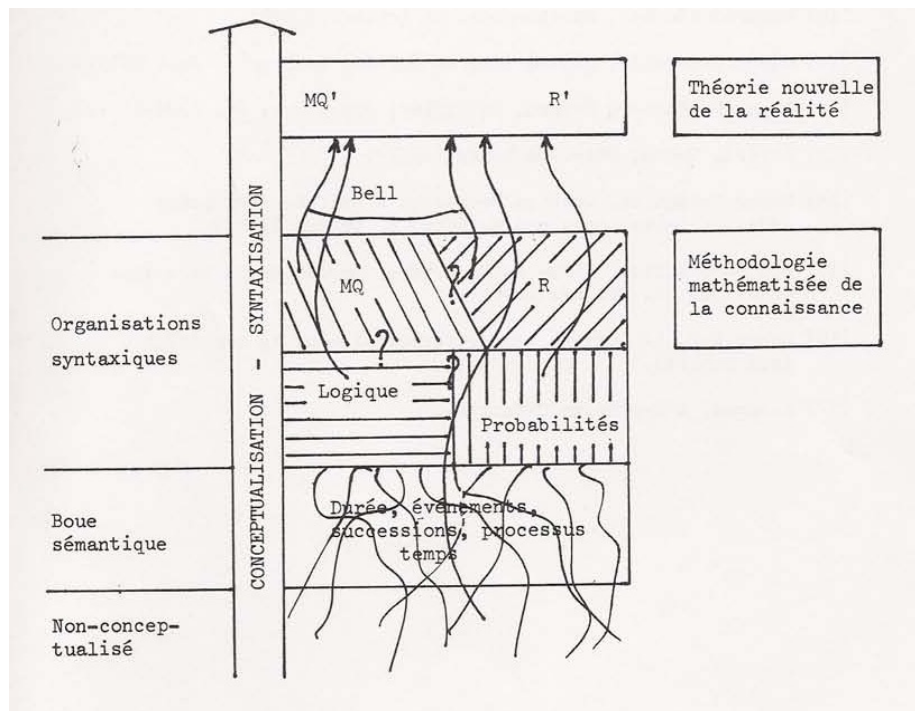


fig. B12

REFERENCES

- (1) Bell, *Physics*, I, 195, (1964).
- (2) Einstein, Podolsky, Rosen, *Phys. Rev.* 47, 777 (1935).
- (3) Lochak, *Found. Phys.* 6, 173 (1976).
- (4) Costa de Berauregard, *Found. Phys.* 6, 539 (1976), *Phys. Lett.* 67, A, 171.
- (5) Selleri, *Found. Phys.* 8, 103 (1978).
- (6) Stapp, *Phys. Rev.* D13, 947 (1976).
- (7) Vigier, *Nuovo Cimento Lett.* 24, 258 (1979).
- (8) d'Espagnat, *Phys. Rev.* DII, 1454 (1975) et D18.
- (9) Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, J. Wiley Sons, N.Y. (1975).
- (10) Mugur-Schächter, dans *Epistemological Letters* (1976).
- (11) Cohen Tannoudji, Exposé au Collège de France, juin 1979.
- (12) Mugur-Schächter, *Evrard, Tieffine, Phys. Rev.* D6, 3397 (1972).
- (13) Evrard, Thèse, Univ. de Reims (1977).
- (14) Mugur-Schächter, dans *Quantum Mechanics a Half Century Later* (eds. J Leite Lopes and M. Paty) D. Reidel (1977).
- (15) Mugur-Schächter, *Etude du caractère complet de la Mécanique Quantique*, G. Villars (1964).
- (16) Schneider, *La logique self-référentielle de la temporalité* (non publié).
- (17) Bergson, *l'Evolution Créatrice* (1907).

Depuis juin 1979 et à ce jour même je n'ai jamais arrêté de travailler à la réalisation du programme esquissé dans la conclusion de cette réflexion sur la question de localité, et surtout dans le schéma qui la clôt. Ce qui suit en est une étape, peut-être finale, vers la réalisation de ce qui y est dénoté MQ' : une refonte de la mécanique quantique en relation explicite avec ses substrats sémantiques, et apte à être insérée dans une méthode

épistémologique générale formalisée – en termes qualitatifs – et probablement même mathématisable. D’ores et déjà, ici même, les relations entre mécanique quantique et probabilités et entre mécanique quantique et relativités d’Einstein se trouveront considérablement éclairées.

Quant aux relations *générales* entre probabilités et logique, auxquelles se rapportent les autres signes d’interrogation du schéma final de cet exposé, elles ont été élucidées dans la méthode de conceptualisation relativisée, puis conduites jusqu’à une formulation explicite du point de vue mathématique (Mugur-Schächter (MMS) [2002a, 2002b, 2006, 2014]); cependant que s’y trouve également construite une représentation du concept de temps qui, me semble-t-il, amène à comprendre à quel point ce concept est tributaire des psychismes humains (MMS [2006]).

1.3.4. But latéral : réaction à un danger épistémologique

Cependant même que la claire perception d’un problème globalisé de la signification du formalisme quantique, porté et mûri par le cours du temps, s’est enfin constituée, déjà ses contours commencent à être brouillés et submergés par les mutations que la théorie quantique fondamentale a subies dans ses prolongements plus modernes en théorie des champs et des particules élémentaires, et par le développement, dans ces nouveaux cadres, d’autres techniques mathématiques, de plus en plus complexes.

Du point de vue de la physique ceci n’est pas à regretter, au contraire. Mais du point de vue épistémologique, ceci pourrait conduire à la suppression d’une potentialité précieuse. Car en conséquence de ces modifications tâtonnantes et locales du formalisme qui permettent au génie humain de constamment avancer envers et contre tout obstacle, les implications épistémologiques séminales de la mécanique quantique fondamentale pourraient rester à jamais dépourvues de définition. Leur substance pourrait s’assimiler d’une manière anonyme dans l’évolution purement pragmatique des techniques mathématiques de la physique. Et dans ce cas leur capacité de faire évoluer aussi nos représentations de nos propres processus de conceptualisation, serait perdue.

C’est aussi contre une telle disparition que j’essaie de réagir dans ce qui suit, en développant l’hypothèse formulée plus haut.

2

L'infra-mécanique quantique

Une représentation qualitative des microétats construite indépendamment du formalisme quantique

« Conçois bien le sujet, les mots
suivront. »

Cato le Vieux (234 AC-149 AC)

2.1. Préalables

Je fais donc abstraction du formalisme quantique. Je me trouve devant une table rase où les seuls éléments dont il est permis de faire usage sont : Les conditions physiques-cognitives qui contraignent l'approche ; les impératifs introduits par les modes humains de conceptualisation ; les impératifs introduits par le but choisi, celui de construire un système de référence doté de structure auquel, en conséquence de la mise en commun de ce que l'on représente, l'on puisse comparer la formulation Hilbert-Dirac du formalisme quantique sous un guidage et un contrôle organisés.

L'entière démarche restera indépendante du formalisme actuel de la mécanique quantique⁴. Elle conduira à une sorte de 'discipline' d'un type nouveau que l'on pourra qualifier de "représentation épistémique-opérationnelle-physique-méthodologique des microétats".

Dans chaque phase j'essaierai de faire apparaître les caractéristiques de cette phase là :

- La façon dont, dans la phase considérée, interviennent les modes humains généraux de conceptualiser (notamment le fait que le nouveau qu'on veut construire est irrésistiblement rattaché (par continuité ou par opposition) à ce qui a été construit avant.

- Comment, lors de chaque nouvelle avancée, s'entrelacent inextricablement concepts, opérations physiques, données factuelles, et mots et signes d'étiquetage qui assurent la communicabilité.

- Comment émergent progressivement des structures de penser-et-dire liées à des modes de faire.

- Comment on peut se heurter à un obstacle qui arrête toute progression vers le but choisi et qui ne peut être contourné que par une décision méthodologique adéquate pour pouvoir continuer, mais qui écarte de manière abrupte de la structure de pensée 'classique'

⁴ De temps à autre il sera fait allusion au formalisme de la mécanique quantique – presque exclusivement dans des notes – afin de préparer progressivement dans l'esprit du lecteur la comparaison constructive développée dans la deuxième partie de ce travail, qui engendre la "2ème mécanique quantique" annoncée dans le titre et l'introduction. Mais la construction de la première partie de ce travail restera rigoureusement indépendante du formalisme quantique.

acquise historiquement, au cours des interactions avec la factualité physique avec laquelle l'homme interagit naturellement via ses sens biologiques et qui, en partie du moins, a été intégrée dans les structures et les fonctionnements biopsychologiques des corps humains.

En conséquence d'une rupture introduite par une décision méthodologique qui se sera imposée dès le départ, le résultat final qui émergera sera foncièrement non "classique", et cela – remarquablement – nonobstant le fait que sous l'empire de contraintes biopsychologiques et de buts de continuités historiques, l'observateur-concepteur humain aura, lui, pensé et agi selon ses modes courants de penser et agir. Et je montrerai que, en un certain sens bien défini, ce résultat foncièrement non classique peut être regardé comme une 'description de microétat'.

Cet aboutissement, lié à la scission spécifiée [(actions cognitives classiques)-(résultat non classique)], illustrera le rôle essentiel des décisions méthodologiques au cours de toute action délibérée dominée par un but.

Bref, j'essaierai de mettre au jour pas à pas le développement du processus constructif délibéré par lequel peut émerger un système cohérent de manières de penser et d'exprimer, faisant unité organique avec un système correspondant de procédures physiques et conceptuelles, et qui spécifie le concept de description de microétat.

Mais qu'on ne s'attende pas ici à l'émergence de quelque substitut plus satisfaisant du formalisme de la mécanique quantique :

Ici l'on ne cherche qu'une structure intégrée de référence, une sorte d'échafaudage pourvu d'escaliers et passerelles vers les intérieurs du formalisme mathématique, qui puisse aider par la suite à identifier les foyers de non-compréhensibilité qui s'y sont logés et à supprimer ces foyers en reconstruisant, s'il le faut, les éléments erronés des algorithmes et en construisant les éléments qui manquent radicalement.

Afin de réussir une communication sans flou, je serai obligée d'introduire quelques notations : des dénominations par symboles au lieu de mots, afin d'éviter des formulations verbales répétées à outrance et trop longues à chaque fois. Mais ces notations n'auront rien de mathématique. L'exposé restera rigoureusement qualitatif, afin de mettre en évidence ce qui, véritablement, s'impose au niveau primordial des structuration de but-faits-et-concepts.

2.2. Comment introduire un microétat en tant qu'objet de description ?

Les microétats qui ont la plus grande importance pragmatique sont conçus comme étant liés par des forces d'attraction au sein de microstructures stables, atomes, noyaux, molécules, etc., et là ils sont stables eux aussi. C'est dire que, bien que non perceptibles, ils sont conçus comme étant déjà disponibles pour être étudiés, en état naturel et doté de certaines stabilités. C'est pourquoi les toutes premières ébauches de pensée 'quantique' ont concerné les microétats liés.

Mais quelle que soit leur importance particulière, les microétats liés n'épuisent pas la totalité des microétats concevables. Il convient d'admettre que l'espace fourmille de microsystèmes en états non liés, libres ou 'progressifs'.

La première partie de ce travail concerne un microétat libre dont la manière d'être nous est totalement inconnue : c'est le cas qui oppose les difficultés maximales et maxi-

malement déployées, clairement séparables mutuellement. Le cas des microétats liés ne sera considéré qu'à la fin de la première partie, via quelques mots de particularisation qui suffiront.

2.2.1. Une opération de génération d'un micro-état

Toute description implique une entité-objet⁵ définie et des qualifications de cette entité-objet, et elle doit être communicable. Les descriptions scientifiques sont en outre soumises à l'exigence de permettre un certain consensus intersubjectif. Le but propre de la mécanique quantique est d'offrir des descriptions mécaniques d'états de microsystèmes, de microétats⁶ (désormais nous écrirons la succession de ces deux mots sans tiret interne, sauf quand il faudra accentuer la différence entre leurs désignés). Ceux-ci sont des entités hypothétiques qu'aucun humain ne perçoit. En outre, ce sont des entités conçues comme étant en général instables, comme tout état mécanique. Nous voulons expliciter la stratégie descriptionnelle qui a conduit à la description quantique des microétats. La première question qui s'impose est donc :

Q1 : « Comment fixer un microétat en tant qu'objet d'étude ? »

Pourquoi ce mot, 'fixer' ? Parce qu'en l'absence de toute espèce de stabilité – récurrence ou reproductibilité – on ne peut pas commencer à conceptualiser. Ce qui est dépourvu de toute stabilité peut être étudié aussi, bien sûr, mais en tant que changements subsumés sous quelque chose de durable ou de récurrent ou de répétable que l'on place en position fondamentale. Il s'agit là d'une manière de hiérarchiser qui est inhérente au fonctionnement de l'esprit humain.

Puisqu'un microétat n'est pas perceptible, il est clair qu'on ne peut pas le fixer en tant qu'objet d'étude en le sélectionnant tout simplement dans un ensemble d'entités préexistantes, comme un caillou, par exemple, que l'on ramasserait par terre et que l'on poserait sur la table du laboratoire. Il faut trouver un autre procédé.

D'autre part, il est clair également que si nous – des humains liés par nos corps et nos capacités perceptives à un certain niveau d'organisation de la matière, celui qu'on dit 'macroscopique' – voulons étudier des 'microétats' non perceptibles par nous, alors nous aurons besoin d'appareils enregistreurs, c'est-à-dire, d'objets macroscopiques eux aussi, qui soient aptes à développer sur eux, à partir d'interactions supposées avec les microétats présumés, des marques qui, elles, soient perceptibles par nous. Mais tant qu'on n'a pas introduit un procédé qui puisse fixer en tant qu'objet de l'étude à faire, un microétat défini, il n'y a aucun moyen de savoir quelle marque correspond à quel microétat : une médiation introduite exclusivement par un appareil enregistreur ne peut suffire. Cet appareil manifesterait juste une foule de marques (visibles ou audibles, etc.), rien d'autre. Ces marques ne seraient pas des descriptions de microétats, elles seraient dépourvues de signification. Elles ne seraient que des événements connaissables mais entièrement déconnectés

⁵ Dans tout ce qui suit l'expression 'entité-objet' est une abréviation de l'expression 'entité-(objet d'étude)' où 'objet d'étude' spécifie un rôle *descriptionnel*. (Par conséquent le pluriel s'écrit : entités-objet). Cette spécification est très importante d'un point de vue conceptuel : en général l'objet d'étude n'est *pas* aussi un 'objet' au sens de la pensée et le langage classique, ni au sens de la logique classique.

⁶ Les caractéristiques stables d'un micro-système – qu'on peut baptiser 'objectités' – sont étudiées par la physique atomique et la physique des particules. La mécanique quantique fondamentale présuppose connues les objectités des microsystèmes qu'elle considère, et elle s'assigne la tâche spécifique d'étudier leurs *états mécaniques*, des microétats, c'est à dire leurs caractères mécaniques (position, vitesse, énergie) instables qui dépendent du temps et de l'environnement (langage introduit par Dirac).

du concept hypothétique de microétat. Or, de par sa définition courante, le concept de description concerne un objet spécifié. Ce problème consistant à fixer un microétat en tant qu'objet d'étude, est incontournable et primordial.

Pour amorcer une dynamique de solution, considérons une opération impliquant des objets et des manipulations macroscopiques et qui soit telle que, sur la base de certaines données dont nous disposons par la voie historique du développement de la physique, nous puissions imaginer que cette opération engendre un microétat. (Par exemple, on a été conduit à admettre qu'une plaque métallique chauffée suffisamment perd, par agitation thermique intensifiée, des électrons qui circulent librement sur sa surface. Ce procédé semble donc pouvoir être conçu comme engendrant des états libres d'électrons).

Mais on se demande aussitôt : Comment peut-on savoir que l'opération considérée engendre vraiment un tel microétat ? Et tout d'abord, quel sens cela a-t-il de parler de 'microétats' avant de savoir ce que c'est ?

Eh bien, on ne peut pas d'emblée savoir quels contenus sémantiques associer au mot 'microétat', justement. On produit au départ juste un lieu conceptuel blanc désigné par ce 'microétat' tel qu'il s'est formé dans l'histoire de la physique. Mais on peut essayer de construire un sens à associer à ce mot, sur la base de données préexistantes, de raisonnements et de conventions : il s'agit de construire une stratégie cognitive. Pour commencer cette construction on peut supposer, sur la base invoquée plus haut, que telle opération macroscopique met en jeu ce qu'on appelle un électron, et en détermine un certain état, inconnu.

D'ailleurs, on n'a pas de choix.

Si l'on veut initier une étude des microétats, on doit investir de quelque façon, car de rien on ne peut rien tirer. Et pour cela on doit puiser dans le réservoir dont nous disposons. Or ce réservoir ne contient que la pensée et le langage courant, les modes humains généraux de conceptualisation, et les systèmes de connaissances préexistants, avec les représentations qui y sont affirmées et les opérations macroscopiques qu'ils suggèrent, réalisables à l'aide d'appareils macroscopiques. On investit donc du savoir conceptuel préconstitué qui induit la supposition qu'un microétat déterminé mais inconnu de telle ou telle sorte de microsystème, a été produit par telle opération macroscopique réalisée à l'aide de tels ou tels appareils macroscopiques, afin de se donner ainsi une nouvelle base pour tenter de construire à partir d'elle un savoir nouveau, défini et vérifiable concernant ce microétats inconnu.

2.2.2. *Étiquetage et communicabilité*

La question *Q1*, toutefois, subsiste toujours : en quel sens peut-on fixer ce microétat hypothétique et inconnu, en tant qu'objet stable d'une étude subséquente ? Le fait d'avoir reconnu qu'il faut créer ce microétat par une opération macroscopique, n'efface pas cette question. A la réflexion, l'unique réponse – qui s'impose – est frappante :

En étiquetant le microétat à étudier par l'opération qui l'a engendré.

Mais un tel étiquetage ne peut être utile que si l'opération de génération d'état mise à l'œuvre est reproductible. Si elle l'est, et seulement dans ce cas, alors nous pouvons en effet convenir de dire qu'à chaque fois qu'on réalise cette opération, elle fait émerger 'le microétats correspondant'. Sur la base de cette convention on peut maintenant étiqueter l'opération de quelque manière, et attacher la même étiquette au microétat correspondant.

Il est en effet strictement nécessaire d'étiqueter, car sinon on ne peut pas communiquer ce qu'on a obtenu, même pas à soi-même. Cependant que ce que nous voulons réaliser, est une procédure librement communicable (sans limitations de distance, etc.) et en plus consensuelle, conduisant à une description consensuelle d'un microétat. En outre, sans étiquetage, sans notation symbolique, cet exposé écrit non plus ne pourrait continuer sans s'enfoncer dans des vertiges de mots. Convenons donc d'une notation. Par exemple, notons G une opération donnée de génération de microétat. Le micro-état correspondant pourra alors être symbolisé me_G , ce qui se lit : *le micro-état engendré par l'opération de génération dénotée G* .

L'opération G de génération de microétat est supposée être définie par la spécification de paramètres opérationnels macroscopiques, mais par ailleurs elle est quelconque (de même que lorsqu'on dit « pensez à un nombre », l'interlocuteur pense à un nombre défini, 3 ou 100, etc., mais n'importe lequel). Si la nécessité se présente de considérer deux opérations de ce type, l'on pourra, par exemple, introduire les notations G_1 et G_2 .

Mais aussitôt on se demande : « En quoi ces précisions nous avancent-elle concernant le problème de fixer un microétat spécifié en tant qu'objet d'étude ? Des notations ne sont pas des faits physiques. Écrire ' me_G ' ne peut pas fixer physiquement un microétat en tant qu'objet d'étude ». Or, si, justement, cela le fixe en tant qu'objet de pensée et de communication verbale. L'opération de génération dénotée G , elle, est un acte physique, et qui se trouve en une certaine mesure sous notre contrôle parce que c'est nous qui le concevons et l'accomplissons. Et les associations [(opérations)-(symbolisations)] ont une grande puissance d'organisation dans un processus de conceptualisation. On peut s'en rendre compte le plus clairement précisément lorsqu'on se trouve en situation de pénurie conceptuelle.

Pour y voir clair, procédons par contraste. Imaginons d'abord une entité physique macroscopique qu'il nous est loisible d'examiner directement, par exemple un morceau de tissu. Supposons la tâche de 'fixer l'état' de ce morceau de tissu. Comment s'y prendrait-on ? On l'examinerait et l'on enregistrerait quelque part (dans sa mémoire, sur papier, dans un ordinateur, etc.) des mots ou des notations indiquant les propriétés constatées et qui paraissent suffire pour individualiser ce morceau de tissu : genre de substance, dimensions, forme, couleur, degré d'usure, défauts, etc. On lui assignerait aussi un nom, ou une étiquette, ou les deux à la fois, et ensuite on le rangerait en se disant que désormais il sera possible de le retrouver tel qu'il était, ou bien au pire de le reproduire.

Mais un procédé de ce type n'est évidemment pas applicable à un microétat qui n'est pas directement perceptible. Tout ce dont on dispose pour fixer ce microétat en tant qu'objet d'étude, c'est qu'il a été engendré par l'opération de génération d'état qui a été dénotée G : *c'est le microétat généré par l'opération G et étiqueté me_G* . Point. Rien de plus, au départ. Or – et cela est remarquable – déjà cela suffit comme bout de fil. En effet – selon notre rationalité humaine – l'entité étiquetée me_G , puisqu'elle a émergé par l'opération physique G , a dû émerger imprégnée de certaines marques physiques relatives à cette opération. Des marques non connues, mais dont on conçoit qu'elles ont singularisé cette entité factuellement à l'intérieur du continuum du réel physique. Désormais cette entité 'existe' donc, en ce sens qu'elle a cessé de se fondre dans le reste du réel physique. Elle existe d'une façon spécifique qui porte le sceau de l'opération G de génération.

En outre puisque l'opération dénotée G est reproductible, le microétat dénoté me_G est désormais 'capturé', en ce sens qu'on peut désormais le reproduire lui aussi autant de fois qu'on voudra.

Les traits minimaux de stabilité et de communicabilité sans lesquels on ne peut pas démarrer un processus de conceptualisation publique, viennent d'être acquis. Une association [(opération physique)-(symbolisations)] a permis de franchir ce premier pas. Bref :

Selon notre manière usuelle de penser et de dire, on peut fixer un microétat en tant qu'objet d'étude en le créant physiquement à l'aide d'une opération de génération reproductible, et en l'étiquetant par l'étiquette associée à cette opération.

2.2.3. Une décision méthodologique inévitable

Mais à nouveau on doute. On se dit : « Si l'on veut aboutir à décrire des microétats il faut en effet partir d'une opération macroscopique accomplie à l'aide d'un appareil macroscopique, car nous sommes rivés au niveau macroscopique pour initier une action dans le réel microscopique ; il faut en effet poser l'hypothèse que ce qui résulte de l'opération accomplie est ce qu'on appelle un microétat, sinon on ne peut pas tenter de construire une démarche qui mérite le nom d'étude des microétats : un échantillon de réel purement factuel ne peut être hissé dans le réseau de conceptualisation qu'en l'incluant *a priori* dans un réceptacle conceptuel. En outre il faut aussi se référer à ce microétat hypothétique en l'appelant le microétat qui correspond à l'opération de génération G et en le dénotant de quelque façon qui inclue l'étiquette G , car on ne dispose d'aucune autre caractérisation, cependant que, pour communiquer, il faut bien nommer. Tout ceci paraît en effet incontournable. Mais qu'est ce qui prouve que lorsqu'on effectue ce qu'on appelle reproduire l'opération de génération étiquetée G c'est vraiment la même opération qui se réalise ? Et, en supposant qu'il en serait ainsi, qu'est-ce qui prouve en outre qu'à chaque fois qu'on réalise G c'est le même microétat qui émerge ? ».

Eh bien, rien ne prouve ces deux 'mêmetés' en tant qu'une vérité factuelle. Ces deux invariances, celle du désigné de G et celle, corrélative, du désigné de me_G ne peuvent pas être dominées dans les faits, opérationnellement, et – dans la phase de conceptualisation toute première où l'on se trouve ici par hypothèse, on n'en sait rien.

Mais d'un point de vue méthodologique, il est crucial qu'on les pose en tant qu'un investissement pour initier une dynamique d'action et de communication consensuelle. Car comment pourrait-on avancer dans l'idée et l'action d'étudier 'un microétat' qui pour l'instant n'est que juste un nom d'un concept posé par nous à l'avance, dont le désigné n'est pas perceptible, et dont on n'admettrait même pas que l'on arrive à le recréer ? Cela est au-delà du concevable.

Et il est évident que vouloir d'abord savoir si chaque réalisation de l'opération de génération G aboutit ou pas à reproduire le même microétat – en l'absence de toute qualification des effets de répétitions de G – afin de décider sur la base de ce savoir si oui ou non on peut 'logiquement' se lancer à commencer de construire des connaissances concernant les microétats, c'est se laisser piéger dans un cercle vicieux.

Nous introduisons donc la suivante *décision méthodologique* :

DM. Ce qui émerge lors d'une réalisation quelconque de l'opération de génération G telle qu'elle est spécifiée à l'aide de paramètres macroscopiques – les seuls dont nous disposons – quel que soit le contenu factuel encore entièrement inconnu de cette émergence, sera dénommé par définition de langage *le microétat me_G correspondant à G* . Cela revient à décider de raisonner et de parler au cours de la construction qui suit, sur la base d'une relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ posée entre les symboles G et me_G .

Il est d'emblée évident que la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ que l'on vient de poser n'est pas une assertion de vérité factuelle. C'est une assertion syntaxique, formelle,

introduite pour des raisons méthodologiques. Elle permet de continuer la construction amorcée d'une manière 'géodésique', sans détours inutiles⁷, en contournant toute tentation de répondre immédiatement aux questions de 'mêmeté' formulées plus haut, qui envahissent l'esprit irrésistiblement cependant qu'on manque de tout accès à des modalités de contrôle – direct ou indirecte – de leur vérité factuelle. La relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ permet de respecter avec rigueur :

- le degré de connaissance qu'offrent les données rendues disponibles dans la phase actuelle de l'élaboration amorcée ici ;
- le but de pouvoir élaborer sans entrave l'approche amorcée ici, et avec le degré de généralité désiré, à savoir celui qui est valide pour **toute** connaissance concernant des microétats.

La relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ refuse les interprétations que nos habitudes de pensée déversent dans nos esprits, habillées de l'impression que celles-ci introduiraient un supplément d'exactitude face à la vérité future qui se révélera : cette impression est illusoire, elle n'est qu'un faux absolu (dans 3.1.5, à la place qui convient le mieux, on trouvera une sorte de 'preuve' de cette affirmation). Son rôle est de nature méthodologique : traduire exactement les conséquences comportées par – exclusivement – le but posé et par les données disponibles.

Et il est en effet évident que la décision de poser la relation $G \leftrightarrow me_G$ permet d'assigner immédiatement une définition claire à ce que désigne l'expression verbale 'le microétat me_G correspondant à G '. L'on pourra donc s'y appuyer dès maintenant pour continuer de construire la structure de référence recherchée, et d'une manière qui exclue toute possibilité d'introduire sans vouloir quelque restriction a priori arbitraire qui puisse se révéler par la suite inutile ou même fautive. Nous verrons bien ce qui en découlera. Mais la relation $G \leftrightarrow me_G$ n'a rien de définitif. Son rôle étant méthodologique et relatif au stade de développement de notre approche, nous restons libres d'introduire plus tard, au fur et à mesure de notre progressions, toutes les nuances de langage qui se montreront adéquates (par exemple, s'exprimer de manière plus circonstanciée en termes de 'tel ou tel exemplaire du microétat me_G correspondant à G ', etc., (7.2.3))⁸.

Enregistrons et soulignons cette première entrée en scène, au cours d'un processus de conceptualisation sous la contrainte explicite de buts, d'une séparation explicite et radicale entre décisions méthodologiques et assertions de vérité factuelle : c'est une avancée majeure à laquelle pousse la démarche développée ici.

2.2.4. *Une catégorie particulière d'opérations de génération d'un microétat : Opérations de 'génération composée'*

Il existe une catégorie particulière d'opérations de génération de microétats qui est liée à un fait d'expérience bien connu, celui que l'on désigne par l'expression 'interférence corpusculaire' (interférence avec des microsystèmes lourds, i.e. à masse non nulle).

Soit un microsystème lourd d'un type donné, disons un électron. Dès qu'on a spécifié une opération de génération G_1 qui engendre pour un tel microsystème un microétat correspondant me_{G_1} , et également une autre opération de génération G_2 qui pour le même type de microsystème engendre un autre microétat correspondant me_{G_2} , on peut spécifier pour

⁷ L'on pourrait tout aussi bien décider de dénommer l'effet inconnu de G 'l'objet-d'étude produit par G ', et le dénoter ae_G . Ce choix produirait probablement au départ une impression moins choquante. Mais il apparaîtra plus loin (3.1.2 et 3.1.5) que ce choix aurait obligé de constamment parler en termes à la fois moins *spécifiques* face à ce dont il s'agit ici (microétats) et plus fastidieux (en termes d'ensembles), sans pour autant arriver à disposer d'un supplément de savoir.

⁸ Les buts – tant que l'on exclut d'y renoncer – imposent toujours des prises de position méthodologiques, en tant qu'actions inévitables et prioritaires.

ce type de microsysteme, une opération de génération composée qui combine G_1 et G_2 et engendre un microétat tel que, en un certain sens détaillé plus bas, on peut le considérer comme étant un état d’“interférence” des microétats me_{G_1} et me_{G_2} .

Historiquement, l’étude des états de microsystemes à masse non-nulle a été abordée en connaissant déjà, d’une part le comportement des mobiles lourds tel que celui-ci est décrit par la mécanique newtonienne, et d’autre part le comportement macroscopique des ondes (sans masse), tel que celui-ci est décrit par l’électromagnétisme classique. Or – lorsqu’on les découvre avec ces acquis historique dans l’esprit – les microétats d’interférence corpusculaire frappent l’attention. Car dans ce cas, face aux repères constitués par ces acquis, on se trouve devant un système surprenant de similitudes et de différences quant aux manifestations observables. En effet, avec des ondes, une configuration – étendue – d’“interférence” se forme *d’un seul coup*, pas comme cela se passe avec des microétats, au fur et à mesure, via des impacts localisés qui sont observables individuellement. Cependant que selon la mécanique classique, les impacts isolés que l’on obtient par les répétitions d’un même état d’un mobile donné (un ‘corpuscule’, si ce mobile est très petit), devraient ne pouvoir jamais engendrer une configuration finale étendue ayant la même forme qu’une figure d’interférence obtenue avec une onde⁹.

La possibilité des phénomènes d’interférence corpusculaire apparaît donc comme une spécificité surprenante de certains états de microsystemes lourds. Cette spécificité a joué un rôle central dans la formulation mathématique de la mécanique quantique¹⁰. Toutefois l’importance des phénomènes d’interférence corpusculaire reste majeure, également, face aux buts propres de la construction tentée cette première partie. Car ces phénomènes comportent des implications concernant les opérations de génération de microétats qu’il est vital de formuler explicitement. Arrêtons-nous donc un instant sur les phénomènes d’interférence corpusculaire. On peut le faire le plus simplement à l’aide d’un compte rendu de la célèbre ‘expérience des trous d’Young’, fait dans les termes que nous avons construits jusqu’ici.

* Afin de fixer les idées, supposons qu’on travaille avec des électrons. On utilise un écran opaque. Du côté droit de cet écran on place une plaque couverte d’une substance sensible (où se forme une marque observable lorsque la surface de la plaque est atteinte¹¹ par un microsysteme lourd). Du côté gauche de l’écran opaque, on produit, par quelque opération de génération préliminaire G_p , un microétat préliminaire d’électron, et ensuite on laisse passer du temps. On constate alors que jamais, à la suite de la génération du microétat préliminaire, il n’apparaît une marque observable sur la plaque sensible de la droite de l’écran opaque. On exprime ce fait en disant que le microétat préliminaire ne traverse pas l’écran opaque.

* On perce maintenant l’écran opaque d’un trou. Dénotons-le par le chiffre 1. Dans ces nouvelles conditions on constate que, à la suite de chaque acte préliminaire de génération G_p accompli à la gauche de l’écran opaque, si les paramètres sont convenablement choisis il se produit systématiquement un impact observable sur la plaque sensible de la droite de l’écran opaque. On exprime ce fait en disant que le microétat préliminaire correspondant à G_p passe par le trou 1, devenant de ce fait un *nouveau* microétat. Si l’on

⁹ Les “mobiles” au sens de la mécanique classique, lorsqu’ils rencontrent des obstacles, produisent des impacts distribués de manière à constituer une figure de “diffusion”, pas une figure d’“interférence”.

¹⁰ Dans la première partie de ce travail ce rôle n’est pas perceptible. Mais il sera examiné en détail dans la deuxième partie.

¹¹ Conformément à la note technique de la fin de l’introduction générale, les expressions verbales qui suggèrent des images importées de la pensée et le langage courants sont écrites sous la forme ‘...’ où les points indiquent expression verbale. Cette précaution permet de maintenir ces expressions sous contrôle, et finalement les éliminer.

élimine toute image suggérée par cette façon de dire, on reste avec l'affirmation que, dans le contexte expérimental considéré, l'existence du trou 1 agit comme une nouvelle opération de génération G_1 qui, à partir de l'état préliminaire produit par G_p , crée du côté droit de l'écran un microétat correspondant me_{G_1} .

En répétant la même procédure un grand nombre de fois, on obtient sur la plaque sensible une certaine configuration étendue $c(1)$ de marques observables (pas une seule même marque réitérée) qui est compatible avec la figure de diffusion que la mécanique newtonienne affirme, dans des conditions similaires, pour un corpuscule au sens classique.

* Appliquons la même procédure décrite ci-dessus, mais en utilisant un écran opaque percé d'un trou 2 qui est placé à un autre endroit que celui où était placé le trou 1. On observe alors de nouveau, à la suite de chaque opération préliminaire de génération G_p , une marque sur la plaque sensible de la droite de l'écran. On exprime ce fait en disant que cette fois le microétat préliminaire passe par le trou 2 ; ce qui, en faisant abstraction de toute image suggérée par le langage employé, revient à considérer que, dans ce nouveau contexte expérimental, l'existence du trou 2 agit comme une opération de génération G_2 qui, à partir de l'état préliminaire G_p , produit du côté droit de l'écran un microétat correspondant me_{G_2} , différent de me_{G_1} .

En répétant G_p un grand nombre de fois, on obtient cette fois sur la plaque sensible une nouvelle configuration étendue de marques observables, $c(2)$, consistant dans une figure de diffusion compatible avec la mécanique newtonienne et qui est déplacée face à celle obtenue avec le trou 1.

* On utilise maintenant un seul écran opaque percé de deux trous, 1 et 2. A gauche de cet écran opaque on répète un grand nombre de fois l'opération préliminaire de génération G_p . Dans ces conditions nouvelles on constate qu'à la suite de chaque réalisation de G_p à la gauche de l'écran opaque, l'on obtient sur la plaque sensible de droite une seule marque observable. Et – à condition que les trous 1 et 2 sont assez rapprochés – la configuration finale de l'ensemble des marques observables, diffère cette fois de la figure que l'on devrait obtenir selon la mécanique classique (à savoir une figure ayant le même aspect qu'une juxtaposition (addition) des deux configurations de diffusion $c(1)$ et $c(2)$ où l'on ne compterait qu'une seule fois deux marques produites à un même endroit : la configuration finale inattendue que l'on obtient – dénotons-la $c(1+2)$ – reproduit par des impacts individuels successifs, l'aspect de la figure d'interférence que, avec une onde, l'on obtiendrait d'un seul coup.

On peut exprimer cette situation par la représentation qui suit.

(a) On considère que lors de chaque réalisation de la procédure impliquée, l'existence simultanée des deux trous 1 et 2 agit comme une seule nouvelle opération de génération où les deux opérations précédentes G_1 et G_2 se 'composent' (ils agissent à la fois sur le microétat préliminaire produit par G_p). Dénotons cette nouvelle opération de génération par $G(G_1, G_2)$ et baptisons-la opération de génération composée. Notons $me_{G(G_1, G_2)}$ le microétat correspondant généré à la droite de l'écran opaque et nommons-le le microétat correspondant à une 'opération de génération composée $G(G_1, G_2)$ '.

(b) Convenons de dire que, dans le microétat à génération composée $me_{G(G_1, G_2)}$, les deux microétats me_{G_1} et me_{G_2} que produiraient, respectivement, l'opération G_1 seule et l'opération G_2 seule, 'interfèrent' : l'introduction de cette façon de dire permet de faire une référence verbale aux figures d'interférence ondulatoire étudiés dans la théorie macroscopique des ondes électromagnétiques, mais qui apparaissent d'emblée (i.e. pas par la composition progressive d'impacts successifs observables individuellement).

On vient de voir comment s'est forgé dans ce cas un système de représentation comportant :

- des opérations physiques qui, dans le cas considéré, sont seulement conçues comme réalisables chacune séparément (G_1, G_2) mais ne sont pas effectivement accomplies séparément, elles sont ‘composées’ pour constituer ensemble une seule opération (ce qui vient d’être exprimé équivaut à une définition de langage); des opérations effectivement réalisées ($G_p, G(G_1, G_2)$) chacune séparément; des objets et procédures macroscopiques (ceux qui interviennent dans l’expérience d’Young décrite plus haut);
- des faits observables (les marques individuelles sur la plaque sensible et les configurations globales constituées de ces marques);
- des façons de dénoter et de dire où interviennent des références à des conceptualisations accomplies auparavant;
- et enfin, certains prolongements commodes de la pensée et du langage courants (qui est essentiellement modélisante), mais dont par la suite on peut faire abstraction.

On peut concevoir un nombre illimité de microétats distincts correspondants à des compositions distinctes d’une seule et même paire d’opérations de génération de départ, G_1 et G_2 , appliquées à un microétat préexistant engendré de manière ‘préliminaire’¹². En effet on peut complexifier la manière de composer G_1 et G_2 : En posant un ‘filtre’ sur le trou 1 on peut affaiblir l’intensité de ‘ce’ qui passe par le trou 1 relativement à ce qui passe par le trou 2, quoi que cela puisse vouloir dire (car en fait on n’en sait strictement rien); ou vice versa. Il existe également des procédés pour ‘retarder la progression de ce qui passe par l’un des trous, face à la progression de ce qui passe par l’autre trou’. L’ensemble des opérations que l’on exprime en ces termes modélisateurs d’affaiblissements ou retardements relatifs, engendre un nombre illimité de micro-états dont les manifestations observables sont en effet mutuellement distinctes (sans qu’on sache en fait ‘pourquoi’), mais qui tous – chacun via une opération composée correspondante $G(G_1, G_2)$ – sont liés à un même couple de deux opérations élémentaires de génération de départ, G_1 et G_2 .

En outre, les manières de penser et de dire que l’on pratique dans la microphysique actuelle suggèrent que l’on conçoit que les constatations formulées plus haut pour le cas de deux opérations de génération G_1 et G_2 , peuvent être généralisées à tout nombre fini d’opérations de génération (de trous). En tout cas, pour autant que je sache, à ce jour on n’a pas signalé des restrictions concernant ce nombre.

Acceptons donc la possibilité d’opérations de génération composées $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ où n est fini mais quelconque et appelons-la le principe de composabilité des opérations de génération de microétats¹³.

Étant donnée une opération de génération $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ bien définie, le microétat à génération composée correspondant sera dénoté $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$. Le symbole $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ dénote donc un seul microétat engendré par l’unique opération de génération composée mais qui, dans la façon d’en parler et d’en représenter la genèse

¹² Cette spécification concernant la réalisation d’un microétat préalable pourrait s’avérer importante.

¹³ La ‘composabilité’ au sens défini dans le texte *est soumise à des contraintes* (par exemple, les opérations de génération composées doivent avoir des supports d’espace distincts). Ces contraintes devraient être exprimables à l’aide d’une algèbre posée pour les opérations de génération de microétats. Mais la structure algébrique qui convient est, elle, contrainte par des *faits*, et actuellement ces faits ne sont pas établis (par exemple, convient-il, face aux faits, d’exiger que les supports de temps ne soient pas disjoints (probablement pas)? Etc. D’autre part il apparaîtra dans la deuxième partie de ce travail que le concept même d’opération de génération d’un microétat (pas de ‘préparation’ du ket d’état correspondant à un microétat donné) n’est tout simplement pas défini dans le formalisme quantique actuel. Dans ces conditions la définition de ‘l’algèbre de la composabilité des opérations de génération d’un microétat’ est laissée ouverte en tant qu’une question de recherche. Cette lacune délibérée n’empêchera nullement les opérations de génération d’un microétat, et le principe de leur composabilité, de jouer un rôle tout à fait fondamental tout au cours de ce travail.

et les manifestations observables, est référé aux microétats possibles mais pas réalisées $me_{G_1}, me_{G_2}, \dots, me_{G_n}$ correspondants, respectivement, aux opérations G_1, G_2, \dots, G_n considérées chacune séparément.

Le principe de composabilité des opérations de génération d'un microétat jouera un rôle fondamental dans la construction entreprise dans la deuxième partie de ce travail : la nécessité de forger explicitement pour ce principe sa pleine place, on le verra, s'y imposera inéluctablement.

Le concept général d'opération de génération d'un microétat – composée ou non – agit comme un conduit imaginé et manié par le concepteur-observateur et qui, du réel physique radicalement extérieur à toute connaissance, aspire tel ou tel brin dans du prochainement connaissable, sans que pour autant l'on puisse sans naïveté poser qu'on coupe entièrement ce brin de réel physique inconnu, du tout dont il provient. Ce concept – à ce jour – est resté extérieur à toute formalisation mathématique, et même à toute définition explicite. C'est un concept-limite qui touche au métaphysique mais qui a été implicitement incorporé à la microphysique moderne. Ce concept baigne dans la 'substance' de Spinoza. Le modèle d'onde à 'singularité corpusculaire' de Louis de Broglie – que Bohr l'ait accepté ou pas – en participe et, on le verra, il marque implicitement l'entier formalisme mathématique de la mécanique quantique ; et cela, sans nullement réduire le caractère radicalement opérationnel-observationnel des descriptions que ce formalisme représente, comme Bohr l'avait souligné.

2.2.5. *Mutation du concept de "définition" d'une entité-objet-d'étude*

D'ores et déjà la dynamique de construction, qui tout simplement s'est imposée, entraîne un premier pas dans le no man's land situé en dehors du domaine de la pensée classique. Mettons sous loupe la dynamique de cette transgression.

Le produit de l'opération de génération G s'installe dans la démarche amorcée en tant que morceau – imaginé – de pure factualité physique, un morceau de factualité conçu par le concepteur-observateur humain comme portant des spécificités physiques relatives à G , mais qui sont tout à fait inconnues. Car dire que « ce qu'on étiquette me_G est le microétat engendré par G » ne renseigne nullement sur la façon d'être spécifique de l'entité (hypothétique) particulière elle-même qui – parmi toutes les entités subsumées sous le concept général de microétat – est la seule qui est étiquetée me_G . C'est dire exclusivement comment cette entité dénotée a été produite, pas comment elle 'est' ou comment elle se comporte.

De même, les expressions à sonorité modélisante qui interviennent dans l'introduction du concept d'opération de génération composée (comme dire d'un microétat me_G qu'il 'passe' par tel trou, etc.), ne disent strictement rien concernant le mode d'être et le comportement du microétat correspondant dénoté me_G . Et en outre, on vient de le voir, ces expressions à sonorité modélisante peuvent être éliminées à la fin de la construction.

Bref, le fragment de conceptualisation accompli jusqu'ici a donc véritablement contourné l'impossibilité, au départ, d'utiliser des prédicats conceptuels pour définir un microétat (comme, pour définir une chaise particulière ou un certain couteau, on dirait respectivement « la chaise marron qui se trouve . . . etc. » ou « le couteau très coupant, à poignée rouge . . . etc. »), ou de montrer du doigt, ou de pointer vers . . . à l'aide de contextes verbaux. Il a véritablement contourné le fait que rien, aucun moyen pratiqué dans la conceptualisation classique, n'est disponible pour que, à l'aide de cela, le microétat à étudier étiqueté

' me_G ' soit individualisé au sein de la catégorie générale dénommée 'microétat' ; pour qu'il y soit individualisé d'une manière qui s'applique directement à lui spécifiquement. Malgré cette totale pénurie de façons usuelles de définir, nous avons pu produire pour le microétat à étudier, au niveau de connaissance zéro sur lequel nous nous sommes placés par hypothèse, une définition a-conceptuelle, strictement non-qualifiante.

Ce qui importe dans cette réussite, c'est que dès que cette sorte de définition est acquise, elle permet de continuer le processus de construction d'une description, cependant que sans elle ce processus restait bloqué.

Bien sûr, il existe d'innombrables autres entités-objet que l'on ne définit qu'opérationnellement. Par exemple, une robe est elle aussi un objet que (souvent) on ne définit que par une suite d'opérations. Mais pendant qu'on fabrique une robe, on perçoit tous les substrats sur lesquels s'appliquent nos actions de génération, ainsi que les processus que ces actions produisent. Et quand la confection est terminée, on voit la robe, on la porte, etc.

Tandis que la définition d'un microétat, par l'opération physique qui produit ce microétat factuellement, descend jusqu'à un substrat physique placé par hypothèse à l'intérieur d'un domaine de factualité physique où règne un inconnu total. A partir d'un tel substrat :

On ne peut disposer d'aucune autre sorte de connecteur au domaine du connu, qu'un réceptacle conceptuel préfabriqué – toute une classe dénommée 'microétat' – que l'on immerge mentalement jusque dans ce domaine d'inconnu total, pour y accueillir comme dans un ascenseur conceptuel, le microétat particulier étiqueté me_G , et le hisser jusque dans du conçu et dicible où il soit rendu disponible pour être qualifié donc 'conceptualisé'.

Or sans aucun tel connecteur il n'est tout simplement pas possible de hisser un fragment de factualité entièrement non connu, jusqu'au contact avec le volume du conceptualisable. Si l'on veut accomplir cette sorte de contact, il faut parler, il faut écrire – avec des mots qui existent et que chacun peut comprendre – il faut investir du connu commun déjà constitué, si l'on veut le prolonger par du connu nouveau. Mais l'utilisation d'un réseau de concepts-et-mots ('microsystème', 'microétat', 'génération de microétat', etc.), qui conditionne une telle prolongation, ne dit pas plus sur le microétat particulier dont on parle, que ne dit la structure du filet utilisé par un pêcheur, sur le 'poisson' particulier qui y a été attrapé.

Sur la base de ces considérations, nous admettons désormais que toute opération G de génération d'un microétat comporte aussi – en dehors d'une opération physique – un connecteur conceptuel qui, à partir du connu déjà constitué, émet un filet d'accueil conceptuel-verbal qui guide pour spécifier l'opération physique à utiliser et offre un lieu d'accueil conceptuel du résultat de cette opération.

Cette spécification supplémentaire du concept d'opération de génération G , permet d'affirmer maintenant en toute rigueur qu'une telle opération introduit comme objet-étudier un morceau de factualité physique encore strictement non-qualifié, lui, spécifiquement. Qu'elle l'introduit d'une manière qui est entièrement indépendante de toute action de qualification passée ou future de cette entité-objet particulière. Toute qualification à proprement dire – spécifique de l'entité-objet particulière dénotée me_G , qui puisse, non pas la singulariser de manière a-cognitive au sein du factuel physique inconnu, mais la caractériser cognitivement elle, en particulier, au sein de la classe (posée) de tous les microétats – devra donc être réalisée ensuite.

Cependant que toute "définition" au sens classique requiert à la fois l'introduction d'une entité-objet-de-description et certaines qualifications caractéristiques de celle-ci.

Ainsi, dans le cas d'un microétat encore strictement non connu – lui, spécifiquement – le concept classique de “définition” se trouve radicalement scindé en deux étapes indépendantes l'une de l'autre : Une première étape de génération non qualifiante qui absorbe en elle la fonction de mettre à disposition un ‘microétat’ particulier en tant qu’entité-objet-d’étude, et une étape de qualification de cette entité-objet-d’étude (de son étude à proprement parler), qui reste à construire.

Le concept de définition de l’entité-objet se sépare du concept de qualification de cette entité.

Cela est foncièrement nouveau par rapport à la conceptualisation classique. La pensée courante et les langages qui l’expriment – le langage courant mais aussi les grammaires, la logique, les probabilités, toute la pensée scientifique classique – n’impliquent pas une structure de cette sorte pour initier un processus de création de connaissances. Les entités-objet-d’étude sont partout introduites par des actions qui, d’emblée, sont plus ou moins qualifiantes : des gestes ostentatoires qualifiants (là, ici, celui-ci, etc.), ou par des références à des contextes qualifiants, ou carrément par des qualifications seulement verbales. Ouvrons un dictionnaire. On y trouve « *chat* : un petit félin domestique, etc. ». Et dans les manuels scientifiques il en va souvent de même. Nous sommes profondément habitués à ce qu’une entité-objet et ses qualifications nous soient données dans la même foulée. Les grammaires définissent en général l’entité-objet d’une assertion descriptionnelle (d’une proposition au sens grammatical) en introduisant un nom d’objet au sens courant classique, ‘maison’, ‘ciel’, ‘montagne’ etc., suivi des nom(s) de propriétés, de prédicats (au sens grammatical) qui – eux – définissent en le qualifiant l’objet indiqué par le nom considéré. Tout cela est souvent exclusivement verbal et suppose la *préexistence* des entités-objet, que ce soit au sens descriptionnel ou au sens grammatical général. Ceux-ci ne doivent qu’être sélectionnées dans le champ de l’attention, pour usage, étude, etc. Pas question de les créer physiquement. Et la sélection d’entités-objet, ce qui introduit dans le champ de l’attention telle ou telle parmi ces entités préexistantes, ce sont des qualifications qui l’opèrent, des prédicats, non pas une opération physique non-qualifiante. La logique classique entérine cette façon de faire. Toute la pensée classique flotte dans le nuage de trompe-l’œil conceptuels que nous désignons par les mots ‘objet’ et ‘propriété’.

Mais un ‘microétat’ n’est pas un “objet” au sens classique. Ce n’est qu’une entité physique hypothétiques, conçue à l’avance par prolongation de la physique classique, et que nous devons d’abord produire dans le rôle d’entité-(objet-de-description), si l’on veut pouvoir tenter ensuite de l’intégrer au domaine du conceptualisé. Et ce tour difficile exige impérativement que le référent courant du mot ‘définition’ soit soumis à une mutation de son sens classique ; une mutation telle qu’elle vide ce référent de tout contenu sémantique propre en le séparant radicalement du référent du mot ‘qualification’.

2.2.6. *Une scission remarquable*

Pour clore cette étape 2.2 je rappelle ce qui suit, qui a été déjà mentionné, mais qui mérite d’être extrait et très fortement souligné. La pensée classique du concepteur-observateur humain – qui est irrésistiblement modélisante en termes causaux et, nécessairement, modélisante dans le cadre des formes a priori kantienne des intuitions d’espace et de temps – a agi au cours du processus de construction comme un simple catalyseur qui ne se fixe pas automatiquement dans le produit descriptionnel final. Le produit final, lui, ne consiste que, exclusivement, dans le fait essentiel que ce qu’on dénomme a priori ‘microé-

tat', quoi que ce soit, se trouve désormais crée et piégé dans un réseau de conceptualisation préexistante, comme un poisson pris dans un filet que l'on n'a pas encore remonté et ouvert. Tel qu'elle émerge des actions cognitives de base des concepteurs-observateurs humains, la description primordiale d'un microétat est a-'spatio-temporelle', a-causale, juste une organisation d'enregistrements éparpillées dans l'espace-temps sur des enregistreurs d'un certain ensemble d'appareils, des enregistrements dépourvus de toute structuration 'interne'.

Entre les caractères de ces deux catégories descriptionnelles – d'une part les actions cognitives du concepteur-observateur fondées irrésistiblement sur des *but*s *finals*, des curiosités humaines, des langages et conceptualisations qui comportent des représentations préexistantes, des hypothèses générées par des savoirs et vues acquis, et d'autre part le résultat nouveau de ces actions cognitives – il s'est installé spontanément une profonde scission de nature.

C'est une sorte de miracle épistémologique.

Car il apparaîtra que cela permet au concepteur-observateur humain d'agir librement des *seules* manières qui lui sont possibles afin de construire des connaissances foncièrement nouvelles dans des environnements sensoriels et conceptuels d'une pénurie littéralement extrême, tout en laissant à des spécificités de forme et de contenu inconnues et non concevables à l'avance, une place non-restreinte pour se manifester *ultérieurement*. Il s'est créé un état descriptionnel de répit.

Ce miracle est sans doute lié à la nature profonde du réel physique, de l'esprit humain, et de leurs interactions. Mais il est également une conséquence directe de deux facteurs purement méthodologiques, introduits délibérément. A savoir, la décision, d'abord, d'amorcer chaque processus de développement de connaissances à un zéro local de connaissances spécifiques de l'entité physique particulière que l'on veut décrire ; et ensuite, le confinement strict à l'utilisation – exclusivement – des données (conceptuelles, factuelles, opérationnelles, et observationnelles) *dont on dispose de manière indiscutable* et qui sont telles qu'en l'absence de chacune de ces catégories de données il n'est simplement pas possible d'avancer dans la construction de la connaissance désirée. Les contraintes de cette sorte, de nécessités épistémologiques sine qua non – minimales –, opérationnelles, méthodologiques, ont été signalées en cours de route dès qu'elles intervenaient, pour chaque type d'élément utilisé (but-curiosité, langages préconstruits et conceptualisations correspondantes, savoirs et vues acquis, hypothèses de travail liées à des représentations et/ou des modèles). Mais elles ont certainement atteint un degré maximal d'étrangeté et de résistance dans le cas de la 'décision méthodologique' qui pose la relation de un-à-un symbolisée par $G \leftrightarrow me_G$ qui, par pure méthode, jette provisoirement un pont entre les causes finales qui agissent dans les actions descriptionnelles, et le caractère irrésistiblement causal de la rationalité humaine.

Et ce sont ces facteurs, en partie méthodologiques, délibérés, qui permettent d'isoler de l'intérieur du concept classique de définition, la fonction vitale de mettre l'entité-objet d'étude microscopique qui reste à être qualifiée plus tard, à la disposition des concepteurs-observateurs – 'stablement', consensuellement, mais dans le sens nouveau, discontinu, d'une certaine répétabilité – et d'absorber cette fonction dans l'opération de génération G , qui implique forcément des éléments conceptuels et des paramètres opérationnels-physiques à caractère classique et macroscopique.

Ainsi s'amorce une dynamique épistémologique-méthodologique qui régit les processus de développement de connaissances que l'on choisit de démarrer à un zéro local de

connaissances, en un endroit psycho-physique indicible où l'action épistémologique touche du 'réel physique' encore aconceptuel sans *rien* affirmer a priori concernant la nouvelle connaissance particulière recherchée, aucune sorte de 'vérité' physique.

Il sera utile de noter pas à pas les effets de cette procédure qui d'une part *n'interdit pas* les modèles globaux, conceptuels, qui opèrent irrésistiblement dans l'esprit du concepteur-observateur pour guider ses actions épistémiques, et d'autre part, localement, est strictement 'positiviste' relativement aux résultats observables dotés de nouveauté.

Je n'ai perçu que tard la scission mentionnée, en réaction à des critiques exprimées par Michel Bitbol, d'abord lors d'un échange privé, et ensuite dans un livre (Bitbol [2010]). Ces critiques m'ont d'abord semblées étrangement infondées, très surprenantes de la part d'un penseur tellement profond. Mais ensuite, lentement, elles ont déclenché dans mon esprit la perception de la scission signalée. Que dans l'esprit de Michel Bitbol cette scission se soit véritablement trouvée à la source de ses critiques, ou non, il *reste* que je lui dois de l'avoir décelée. Pour cette raison – et en ce sens – je la dénomme *la scission Mugur-Schächter–Bitbol* et je l'indique par le signe *MS-B*.

2.3. Qualifier un microétat

Sur la base acquise à partir de la question *Q1* il est désormais possible d'envisager d'étudier le microétat étiqueté me_G , c'est-à-dire d'essayer d'acquérir quelques données communicables sur sa manière propre, particulière, de se manifester. Il s'est créé une ouverture vers une éventuelle acquisition d'un savoir nouveau et non-hypothétique lié à des caractéristiques spécifiques au microétat me_G créé par l'opération de génération *G* considérée, et par aucune autre telle opération.

Cette ouverture, toutefois, n'aura été utilisée que lorsqu'on aura réussi à en tirer des manifestations observables par le concepteur-observateur humain, des manifestations qui impliquent le microétat me_G et dont on puisse dire en quelque sens précisé qu'elles qualifient me_G . Mais quelles sortes de manifestations ? Comment les concevoir ? Comment les réaliser ? Comment leur associer des significations ? Bref, on se trouve maintenant en présence de :

La question *Q2* : Comment qualifier un microétat me_G ?

Un chemin pour aborder la question *Q2* s'ébauche lorsqu'on commence par examiner comment nous qualifions habituellement.

2.3.1. Comment qualifions-nous habituellement ? *Grille normée de qualifications communicables et consensuelles*

Lorsqu'on qualifie un objet on le fait toujours relativement à quelque point de vue, quelque biais de qualification, couleur, forme, poids, etc. Une qualification dans l'absolu n'existe pas. Supposons alors que l'on recherche une qualification de couleur pour une entité-objet macroscopique. Notons tout de suite que le mot couleur lui-même n'indique pas une qualification bien définie. Il indique une nature commune à tout un ensemble ou spectre de qualifications, rouge, vert, jaune, etc. Il indique une sorte de dimension, ou terrain abstrait, bref un réceptacle ou support sémantique où l'on peut loger *toute* qualification qui spécifie une couleur bien définie. On pourrait alors dire, par exemple, que rouge est une 'valeur' (non numérique dans ce cas) que la dimension sémantique de couleur peut loger

ou manifester, et que la couleur au sens général ne peut, elle, se manifester que par des valeurs de couleur. Ce langage peut paraître inutilement compliqué. Mais il apparaîtra vite que les distinctions introduites sont toutes nécessaires. Il en va de même pour ce qu'on appelle forme, poids, position, énergie, bref, pour tout ce qui indique un biais de qualification : Plus ou moins explicitement, mais toujours, une qualification fait intervenir deux paramètres de qualification, hiérarchisés : (a) une dimension 'sémantique' de qualification ; (b) un spectre de 'valeurs' qualifiantes porté par cette dimension ; (c) une (au moins) opération 'de mesure' (d'estimation) qui permet d'associer à certaines entités (celles qui peuvent être qualifiées via la dimension sémantique considérée) une valeur du spectre (b). Bref, un genre le plus proche, des différences spécifiques, et au moins une modalité d'estimation de différence spécifique à l'intérieur de ce genre le plus proche, dans le cas d'entités qui admettent ce genre. Cela vient de la nuit des temps, porté sans doute par notre agencement biopsychologique.

Comment apprend-on quelle est la valeur de couleur d'un objet que l'on veut étudier du point de vue de la couleur ? On le regarde. Cela peut s'exprimer aussi en disant qu'on assure une interaction de mesure de couleur entre l'objet et notre appareil sensoriel visuel. L'avantage de cette façon de dire est qu'elle introduit d'emblée un langage qui pourra convenir aussi bien aux examens scientifiques délibérés, qu'aux examens plus ou moins spontanés de la vie courante. Cette interaction (biologique) de mesure de couleur produit une sensation visuelle, une *quale* que seul le sujet connaissant éprouve, donc peut connaître et reconnaître. Mais on admet que cette sensation visuelle se trouve en corrélation stable avec l'objet étudié, dans la mesure où cet objet et son état sont eux-mêmes stables, cependant que l'état du sujet perceuteur est stable également, et 'normal'. En outre, par des apprentissages préalables qui impliquent des processus de comparaison et d'abstraction, le sujet finit par distinguer, dans sa sensation visuelle globale d'un l'objet-d'étude, cette dimension sémantique particulière dont le nom public est 'couleur', ainsi que les valeurs particulières de couleur par lesquelles cette dimension se manifeste à lui. Une valeur de couleur, telle qu'elle est ressentie par le sujet, est essentiellement indicible quant à sa qualité, sa *quale*, sa nature subjective intime. Mais par l'apprentissage de la correspondance entre cette *quale* et le *mot* que les autres prononcent en regardant la même entité physique (correspondance qui est constante dans le cas d'un groupe d'observateurs normaux et en situation observationnelle normale) le sujet arrive à étiqueter lui aussi cette *quale* particulière non communicable, par ce même *mot*, son nom public qui, lui, est communicable et consensuel : 'rouge', 'vert', etc. Cela lui permet de s'entendre avec les autres sujets humains en ce qui concerne les valeurs de couleur¹⁴. Bref, dans le cas de notre exemple, le sujet annoncera par un mot consensuel que le résultat de la mesure (de l'estimation de valeur) de couleur qu'il vient de réaliser à l'aide de ses yeux, est telle valeur de couleur, disons la valeur 'rouge'.

Mais un aveugle peut-il répondre à une question concernant la couleur d'un objet ? Ce n'est pas impossible. Il peut mettre l'objet d'étude dans le champ d'un spectromètre de couleurs connecté à un ordinateur vocal qui annonce en noms publics de couleurs les résultats de l'analyse spectrale qu'il opère. Ainsi le résultat produit par une interaction de mesure de couleur entre l'objet d'étude et un appareil de mesure de couleur qui est différent

¹⁴ L'essence de ce procédé est la même que dans l'entière physique macroscopique, les relativités d'Einstein inclusive-ment : Un ensemble d'observateurs perçoivent et examinent tous une même entité physique qui leur est extérieure. Ils étiquettent les résultats subjectifs de leurs observations selon des règles publiques conçues de façon à assurer certaines *formulations* qualifiantes finales qui sont invariantes au passage d'un observateur de l'ensemble d'observateurs considéré, à un autre.

des appareils sensoriels biologiques de l'aveugle, est perçu par l'aveugle *via* un appareil sensoriel biologique dont il dispose, son ouïe. Cela le met en possession – directement – de l'expression publique du résultat de l'interaction de mesure considérée. La perceptibilité sensorielle visuelle, dont il manque, a été court-circuitée.

En outre, nonobstant l'absence de *toute* perception sensorielle visuelle, l'aveugle peut néanmoins se construire progressivement une certaine 'perception intellectuelle' subjective de la signification des noms de couleur, 'rouge', 'vert', etc. Cela est possible à l'aide de certains contextes (verbaux ou d'autres natures) qu'il est capable de percevoir. À partir de ces contextes, le total vide d'intuition qui, pour lui, se cache sous le mot publique 'rouge' qu'il a appris à utiliser, est osmotiquement pénétré d'une sorte de brume de qualités, de *qualia*, peut-être associée à un mélange d'images fugaces, comme un 'modèle' vague et changeant.

Cette dernière remarque n'est pas dépourvue d'importance parce que l'expérimentateur scientifique est comparable à l'aveugle en ce qui concerne le type de signification qu'il peut associer à certaines qualifications qu'il réalise sans aucun autre support perceptif que des marques 'sans forme' ni signification propre, ou même à l'aide seulement d'annonces par symboles recueillies sur des enregistreurs d'appareils qui sont extérieurs à son corps (pensons aux indications que l'on lit sur un écran de surveillance des phénomènes qui se passent dans un accélérateur du CERN). A la différence des qualifications déclenchées exclusivement par ses perceptions sensorielles biologiques, les significations associées à de telles marques ou annonces ne parviennent plus à la conscience de l'expérimentateur sous la forme de *qualia* liées à l'entité-objet-d'étude, il ne les perçoit *que* par l'intermédiaire d'étiquetages publics de résultats obtenus opérationnellement : la dimension sémantique qui porte la 'valeur' impliquée par ces résultats, n'est plus sensible. Mais après coup, comme l'aveugle, l'expérimentateur se construit une certaine perception intellectuelle subjective de cette dimension sémantique. Quand il dit, par exemple : « j'ai mesuré une 'différence de potentiel électrique' », il associe à cette expression un certain mélange flou d'images portées par les formulations verbales qui ont formé ce concept dans son esprit et qui, au plan intuitif, le relie à son expérience sensorielle de départ.

On vient de détailler comment se constitue une grille normée de qualifications communicables dans le cas d'une couleur ou d'autres dimensions sémantiques. Une conclusion analogue vaut pour toute autre sorte de qualification physique communicable et normée, de forme, poids, etc., et même pour des qualifications communicables et normées abstraites.

Le schéma général affirmé au départ pour "une grille de qualification", peut donc maintenant être précisé : Une telle grille de qualification normée comporte toujours **(a)** une dimension sémantique ; **(b)** portant un ensemble de valeurs posées sur cette dimension sémantique ; **(c)** une procédure d'interaction de 'mesure' mettant en jeu, soit d'emblée et exclusivement un ou plusieurs appareils sensoriels biologiques du concepteur humain, soit d'abord un appareil de mesure artificiel sur les enregistreurs duquel s'enregistrent des marques physiques qui, elles, sont directement observables par le concepteur *via* ses appareils sensoriels biologiques (il doit toujours y avoir un effet final d'un acte de mesure, que le concepteur humain perçoive directement par ses sens biologiques) ; et en outre **(d)** une procédure de traduction de l'effet final perçu par le concepteur humain, en termes communicables et publiquement organisés désignant une, et une seule, parmi les valeurs portées par la dimension sémantique introduite. Telle est l'essence du schéma qui fonctionne lors des actions de qualification de notre vie courante et, en général, lors des qualifications effectuées dans le cadre de la pensée classique. Au premier abord, les éléments de ce schéma et les phases de son édification peuvent n'apparaître que d'une façon confuse. Mais la

présence de chaque élément et de chaque phase est toujours identifiable par analyse.

2.3.2. De la grille usuelle de qualifications communicables, à une 'condition-cadre générale' pour la qualifiabilité d'un microétat

Imaginons un microétat me_G spécifié par une opération de génération G . On veut le qualifier. Il est clair d'emblée que pour ce cas le schéma classique ne fonctionne plus tel quel, ne serait-ce que parce qu'un micro-état n'est pas disponible tout fait et stable, de manière à ce qu'on puisse lui 'appliquer' une grille qualifiante déjà disponible et stable elle aussi. Mais il peut y avoir d'autres difficultés, insoupçonnées. Il faut donc identifier explicitement, une à une, les spécificités qui apparaissent, et faire face systématiquement aux contraintes qu'elles comportent.

2.3.2.1. Préalables : Spécificités d'une opération de qualification d'un microétat

Les considérations qui suivent constituent une digression pour mise en contexte général, et qui reste extérieure au processus de construction entrepris ici.

Partons de l'exemple des couleurs considéré plus haut. Dans cet exemple on suppose que l'entité-objet préexiste et que, d'emblée, elle est apte à produire, lors d'une interaction avec nos yeux, l'effet de couleur dénommé 'rouge'. Ce résultat est supposé se produire en vertu d'une propriété dont on conçoit que d'ores et déjà elle est actuelle, réalisée en permanence dans l'entité-objet considérée, d'une façon intrinsèque, indépendante de toute interaction d'estimation de la couleur : la propriété d'émettre constamment des radiations électromagnétiques d'une longueur d'onde comprise dans l'intervalle étiqueté par le mot 'rouge'.

L'aveugle admet lui aussi que l'entité-objet dont il ne peut voir la couleur, préexiste avec constance, puisqu'il peut à tout instant la toucher, l'entendre tomber, etc. Et il admet également que cette entité-objet 'possède' de par elle-même une propriété qui, par interaction avec un appareil récepteur adéquat, produit le genre d'impression qu'on appelle 'couleur'. C'est sur cette double base qu'il soumet l'entité-objet, telle qu'elle est, à une interaction avec un spectromètre, c'est à dire avec un simple détecteur de couleur qui ne fait qu'enregistrer des effets de la propriété, préexistante dans l'entité-objet, d'émettre des radiations dans la bande du visible par l'homme normal.

Or dans le cas d'un microétat, la supposition de propriétés intrinsèques préexistantes dans l'entité-objet d'étude, ne vaut plus. Une telle supposition serait inconsistante avec la situation cognitive dans laquelle on s'est placé par hypothèse pour le processus de conceptualisation que nous avons entrepris ici. Concernant – spécifiquement – un microétat particulier qui, via une opération de génération G , a été rendu 'disponible' pour être étudié, mais qui n'a encore jamais été qualifié, on ne sait rien à l'avance en dehors de la manière dont il a été généré. (J'emploie de manière répétée ces curieuses précisions – spécifiquement, particulier – afin de constamment distinguer le savoir nouveau que l'on veut gagner, du type de 'savoir générique d'accueil' porté par l'affirmation posée *a priori* et absorbé dans ' G ', que l'effet de l'opération de génération mise à l'œuvre est de la catégorie qu'on convient d'appeler 'un microétat'). Dans la phase initiale du processus de construction de connaissances concernant un microétat, celle de création de l'entité-objet-d'étude, nous n'assignons aucune propriété qui soit propre (si l'on peut dire) au microétat que nous avons étiqueté ' me_G ' : il n'est doté que des propriétés générales assignées à l'avance au concept d'accueil d'un microétat'. Nous n'avons même pas encore d'indices directs que ce mi-

croétat existe. On pose qu'il existe (et qu'il est en une relation de un-à-un avec l'opération G qui l'a produit) mais on ne le sait pas.

Dans ces conditions, afin d'arriver à associer au microétat me_G telle valeur de telle dimension de qualification, il faudra *construire* tout un chemin. Il faudra, en général tout au moins, commencer par changer ce microétat hypothétique de telle manière qu'il produise quelque effet observable. C'est-à-dire, il faudra soumettre le microétat à étudier, à une interaction qui, selon des critères explicitement définis, justifie l'assertion qu'il s'agit bien d'une opération de 'mesure' de, précisément, ce qu'on veut mesurer sur ce microétat, donc d'une 'valeur' logée sur une dimension sémantique définie. Et il faudra que l'effet observable que l'on a produit puisse – de quelque façon bien définie elle aussi – signifier une valeur précisée, parmi toutes celles considérées comme possibles pour la dimension de qualification voulue (ce qui, si accompli, étayera aussi l'hypothèse que le microétat me_G existe). Et enfin, il faudra rester vigilant concernant l'entité que – exactement – la valeur ainsi obtenue qualifie. Bref, en l'occurrence, il faudra créer, conceptuellement et physiquement, une qualification par une valeur du type sémantique recherché, et en outre il faudra construire un sens pour l'affirmation que cette valeur là peut être associée à un microétat. Explicitons ces mises en garde.

L'affirmation de nécessité de vigilance signale d'emblée un piège vers lequel le langage pousse subrepticement la pensée, et auquel il faut échapper. Lorsqu'on dit « je veux qualifier ceci » (cette pierre, ce lac), ce qu'escompte automatiquement un concepteur-observateur humain doté de la manière classique de penser, est un renseignement sur la manière d'être de 'ceci' même. Or dans notre cas, puisqu'on doit changer le microétat à étudier afin de le qualifier de manière observable, et peut-être même le changer radicalement, ce qui implique un processus de durée non-nulle, le résultat *final* observé impliquera déjà un *autre* microétat, différent du microétat à étudier me_G , celui qui a été initialement engendré par l'opération de génération G en tant qu'entité-objet-d'étude. En outre ce résultat final ne qualifiera même pas exclusivement cet autre microétat changé non plus, il ne qualifiera que, globalement, l'interaction de mesure entre un appareillage et le microétat me_G , qui aura produit le changement de me_G et la manifestation finale observée. En effet la valeur indiquée par la manifestation observée aura été produite par cette interaction de mesure *considérée globalement*, pas exclusivement et directement par ce que nous appelons le microétat me_G à étudier. Il faudra surveiller de près cet ordre d'idées et notamment expliciter s'il existe un sens, dans ces conditions, dans lequel le résultat des qualifications construites peut être regardé comme une 'description du microétat étudié me_G ' lui-même. Et si un tel sens semble définissable, il faudra l'expliciter avec rigueur.

Une autre remarque s'impose. Le formalisme mathématique de la mécanique quantique concerne spécifiquement les déplacements des microétats dans l'espace, puisqu'il s'agit d'une mécanique. Les dimensions sémantiques de qualification qui y interviennent sont indiquées par les mots 'position', 'quantité de mouvement', 'énergie', moment de la quantité de mouvement'¹⁵, espace, temps. Comment a-t-on pu arriver à associer de telles qualifications, à des microétats non perceptibles et encore strictement non connus, dont on ne savait même pas si, et en quel sens, on peut dire qu'il se 'déplacent' ? Cela, sans se fonder sur aucun modèle ? Car n'oublions pas que le modèle du genre bille en mouvement, que l'on associait à un microétat avant la construction de la mécanique quantique, par transfert direct de la conceptualisation newtonienne de la mécanique classique, a échoué,

¹⁵ À ces qualifications fondamentales, ont été ensuite ajouté d'autres (spin, parité).

et que c'est à la suite de cet échec qui a laissé un vide de modèle que l'on a conçu la nécessité d'une autre conception sur les microétats. Les acquis historiques qui au début 20^{ème} siècle appelaient une nouvelle 'mécanique' des microétats, lançaient cet appel avec un mot, 'microétats', juste un mot qui s'était vidé de tout contenu établi.

Un nouveau départ avait été marqué par le célèbre modèle onde-particule proposé dans la thèse de Louis de Broglie (de Broglie [1924]). Mais ce modèle n'a pas clairement survécu dans la formalisation finale acceptée généralement. En tout cas il n'y a pas survécu avec la même signification que dans la thèse et les travaux ultérieurs de Louis de Broglie. Il n'en est pas vraiment absent non plus. Il y subsiste implicitement dans les écritures mathématiques et dans le langage qui accompagne ces écritures, où il a instillé une foule de traces. Mais celles-ci ont diffusé et ont perdu les marques de leur origine. À tel point que, depuis Bohr et Heisenberg et jusqu'à ce jour, on affirme couramment que la mécanique quantique actuelle n'introduirait aucun modèle, ni de micro-système ni de microétat.

Or cela est certainement inexact.

Le but d'élaborer une mécanique des microétats a dû présupposer la signifiante de 'grandeurs mécaniques' pour ces entités inobservables et hypothétiques étiquetées par le mot 'microétats'. Dans la mécanique classique les grandeurs mécaniques n'ont été définies que pour des mobiles macroscopiques. Leur signifiante pour des 'microétats' également n'a pu être qu'un postulat posé a priori. Un postulat admis sur la base de tout un ensemble d'indices expérimentaux et conceptuels-historiques, mais un postulat a priori tout de même. Ce postulat ne pouvait être justifié que d'une manière constructive, par la réalisation effective d'une représentation des grandeurs mécaniques à l'intérieur d'un tout nouveau doté d'efficacité prévisionnelle, constitué par un système d'algorithmes mathématiques et d'opérations physiques et appareils associés à ces algorithmes. On a décidé d'induire des 'grandeurs mécaniques' conçues initialement dans une discipline macroscopique, dans une représentation nouvelle liée à des dimensions d'espace et de temps dont les ordres de grandeur dépassent à un degré gigantesque les seuils de perception des organes sensoriels biologiques de l'homme. On a construit selon cette décision et la construction s'est justifiée a posteriori. Mais afin de pouvoir construire l'on a forgé des éléments formels – des 'opérateurs dynamiques' – tirés d'une reformulation mathématique des modèles classiques de mobiles qualifiables par des grandeurs mécaniques newtoniennes (à savoir la reformulation hamiltonienne-lagrangienne). Les algorithmes mathématiques liés à ces opérateurs ont été adaptés à des actions descriptionnelles conceptuelles, et à des opérations physiques, d'un type foncièrement différent de celui des actions descriptionnelles et des opérations physiques associées aux mesures classiques de grandeurs mécaniques¹⁶. Or la forme mathématique de ces éléments formels nouveaux, et surtout la structure de l'opération physique de mesure qui est juste affirmée de façon informelle comme 'correspondant' à tel ou tel opérateur formel, portent quasi systématiquement et ouvertement les marques de leur origine historique et d'une franche *modélisation* sur la base du modèle onde-particule de Broglie.

Afin de concrétiser, nous donnons immédiatement un exemple d'une telle opération de mesure, celle de la grandeur dynamique fondamentale de quantité de mouvement. Cet exemple est paradigmatique. Il relie explicitement ce que nous avons déjà exprimé ici, aux questions générales qui seront traitées plus loin.

¹⁶ Il s'agit de la définition d'un 'opérateur différentiel' associé à chaque grandeur mécanique classique, avec ses 'états propres' et ses 'valeurs propres', et de la spécification de l'opération physique par laquelle on doit réaliser l'interaction de mesure correspondante.

Soit la grandeur – vectorielle – $\mathbf{X} \equiv$ ‘quantité de mouvement’, dénotée \mathbf{p} ¹⁷. Un acte de mesure sur un microétat, d’une valeur \mathbf{X}_n du spectre de cette grandeur fondamentale (dénotons-la $\mathbf{X}_n \equiv \mathbf{p}_n$), doit s’accomplir par la méthode ‘time of flight’¹⁸, de la manière suivante.

Soient, respectivement, $\delta E(G)$ et $\delta t(G)$ les domaines d’espace et de temps qui seront peuplés par une réalisation de l’opération G de génération d’un exemplaire du microétat me_G à qualifier. On place un écran sensible E – très étendu – suffisamment loin du domaine d’espace $\delta E(G)$ pour que ce domaine puisse être considéré comme quasi ponctuel par rapport à la distance OE entre $\delta E(G)$ et E mesurée le long d’un axe Ox partant – en gros – de $\delta E(G)$ et tombant perpendiculairement sur E ; cependant que $\delta t(G)$ puisse être regardé comme négligeable par rapport à la durée moyenne qui s’écoule entre le moment t_0 de la fin de la réalisation de l’opération G et le moment t où l’on enregistre un impact sur E .

(a) On accomplit effectivement une opération G en notant le moment t_0 assigné à sa fin, i.e. celui assigné au début de l’existence du microétat me_G . (Notons que t_0 est une donnée de départ qui est caractéristique de G , ce n’est pas un enregistrement obtenu par l’acte de mesure sur me_G qui doit suivre).

(b) Si G a comporté des champs, au moment t_0 on les éteint. Si entre le support d’espace-temps $\delta E \cdot \delta t(G)$ et l’écran E il préexiste des champs extérieurs ou des obstacles matériels, on les supprime. Sur la base de ces précautions l’évolution de mesure assignée à l’exemplaire du microétat me_G créé par l’opération G , est posée être ‘libre’ (dépourvue d’accélération) (notons que ces précautions se rapportent avec évidence à la présupposition, dans me_G , d’une ‘quantité de mouvement’ dont toute accélération modifierait la valeur vectorielle).

(c) Après quelque temps il se produit un impact P_n sur l’écran E . L’aiguille d’un chronomètre lié à E acquiert alors une position, disons ch_n , qui marque le moment t_n de cet événement (l’ensemble des données qui concernent l’acte de mesure considéré ici, et qui pourraient changer de valeur dans un autre acte de mesure accompli sur un autre exemplaire de me_G , sont indexés par un numéro d’ordre n). On dit que ‘la durée de vol’ (time of flight) – mais de quoi ? de quoi ? – a été $\Delta t_n = t_n - t_0$.

(d) La valeur de la distance – vectorielle – \mathbf{d}_n parcourue entre $\delta E(G)$ et le point d’impact P_n , est $\mathbf{d}_n = \mathbf{OP}_n$. Le carré de la valeur absolue de cette distance est $|\mathbf{d}_n|^2 = d_{xn}^2 + d_{yn}^2 + d_{zn}^2$ où $d_{xn} \equiv OE$ est mesurée sur l’axe Ox et d_{yn}, d_{zn} sont mesurés sur deux axes placés dans le plan de E et qui, avec Ox , déterminent un système de référence cartésien droit.

(e) On définit, respectivement, la valeur \mathbf{p}_n mesurée pour la grandeur $\mathbf{X} \equiv \mathbf{p}$, et sa valeur absolue $|\mathbf{p}_n|$, selon les formules

$$\mathbf{p}_n = m(\mathbf{d}_n/\Delta t_n) \quad |\mathbf{p}_n| = m \left(\sqrt{d_{xn}^2 + d_{yn}^2 + d_{zn}^2} / \Delta t_n \right)$$

où m est la masse associée au microsystème dont on étudie le microétat me_G (définie dans la physique atomique ou la théorie des particules élémentaires).

Ceci clôt l’acte de mesure considéré. Notons maintenant ce qui suit.

¹⁷ Ici l’écriture en gras ‘ \mathbf{X} ’ n’indique que la nécessité, dans un formalisme mathématique non spécifié conçu pour décrire des microétats, de définir une *composition*, pour la dimension sémantique considérée, de trois autres dimensions sémantiques; une composition reliée à celle qui, pour un vecteur au sens classique, unit ses trois ‘composantes’, eu un ‘vecteur’).

¹⁸ Feynman a souligné qu’une mesure de quantité de mouvement n’est compatible avec la théorie quantique des mesure que si elle est accomplie selon la méthode ‘time of flight’ (il s’ensuit que les mesures ‘par trace’ pratiquées souvent, ne sont pas réglementaires).

Dans le cas exposé plus haut les manifestations physiques observables produites par l'acte de mesure sont : le point P_n et la position ch_n de l'aiguille du chronomètre lié à l'écran E . Ces manifestations ne sont pas directement des valeurs numériques, ni n'en 'possèdent'. Ce sont seulement des marques physiques perceptibles, disons μ_{1n} et μ_{2n} , respectivement, produites par l'acte de mesure, sur les deux 'enregistreurs' de 'l'appareil' de mesure qui a été conçu pour accomplir cet acte de mesure (l'appareil étant constitué du chronomètre associé à l'opération G , de l'extincteur de champs extérieurs, de l'écran E et du chronomètre lié à l'écran).

Les significations associées aux manifestations observables enregistrées, ainsi que les valeurs numériques associées à ces significations, à la fois, sont définies par : la manière de concevoir un acte de mesure de la grandeur $\mathbf{X} \equiv$ 'quantité de mouvement' assignée à un microétat et dénotée \mathbf{p} et par les relations posées $\mathbf{p} = m(\mathbf{d}/\Delta t) = m\mathbf{v}$, $\Delta t = t - t_0$ et $|\mathbf{d}| = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2}$, $\Delta t_n = t_n - t_0$ et $|\mathbf{d}_n| = \sqrt{d_{xn}^2 + d_{yn}^2 + d_{zn}^2}$ dont les trois premières définissent une fonction générale 'f' de structure interne de ' \mathbf{p} ', à savoir $\mathbf{p} = f(m, d, \Delta t)$, et les autres permettent de calculer la valeur \mathbf{p}_n mesurée pour \mathbf{p} en cohérence avec la fonction de structure 'f' et sur la base des deux manifestations physiques observables $\mu_{1n} \equiv P_n$ et $\mu_{2n} \equiv ch_n$.

On voit clairement sur l'exemple donné que :

- La quantité de mouvement \mathbf{p} associée au microétat à étudier me_G , est définie de la manière classique, par $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$.
- Les prescriptions pour calculer la valeur numérique \mathbf{p}_n sont exactement celles que l'on devrait suivre pour un mobile classique libre.
- Cela *seul* justifie que l'évolution de mesure posée pour me_G exige d'éteindre tout champ et d'éliminer tout 'obstacle', i.e. de supprimer tout ce qui – selon la mécanique classique – modifierait par des 'accélération' la valeur \mathbf{p} 'de départ' et que c'est cette exigence qui constitue la base sur laquelle on conçoit (plus ou moins explicitement) qu'un acte de mesure 'time of flight' est 'convenable' par ceci précisément qu'il change le microétat étudié me_G d'une manière qui n'altère pas aussi la valeur à mesurer de \mathbf{p} ¹⁹.

Bref, l'entière procédure qui vient d'être exposée serait entièrement arbitraire – et même *inconcevable* – en l'absence d'un modèle macroscopique classique pour lequel on a décidé d'assigner, par prolongement, une signification, aussi, pour des microétats. Et le prolongement est accompli via l'acceptation non-déclarée du modèle one-particule de Louis de Broglie.

Tout ce qui vient d'être dit plus haut concerne le formalisme mathématique de la mécanique quantique. Mais, comme j'ai déjà souligné, cela reste extérieur à la démarche constructive tentée dans la première partie de ce travail : si l'on supprimait tout ce qui vient d'être dit sur la mesure 'time of flight', le travail constructif resterait le même et il n'en pâtirait pas dans sa structure, il n'en pâtirait que dans son degré d'intelligibilité immédiate. Car la démarche qui est en cours d'être développée ici est soumise délibérément à des contraintes plus fondamentales et conceptuellement plus ascétiques que celles qu'a subies la construction du formalisme de la mécanique quantique. La construction de la mécanique quantique avait un autre but, à savoir de représenter mathématiquement une

¹⁹ Cette condition, généralisée, est imposée dans la mécanique quantique à toute mesure d'une grandeur mécanique. Ajoutons que la procédure est marquée d'un caractère d'approximation en conséquence de l'étendue non-nulle du domaine d'espace-temps occupé par l'opération de génération du microétat étudié.

mécanique des microétats. Ce but-là, d'emblée, plaçait les bases de la recherche sur un niveau de conceptualisation subséquent à celui posé ici, à savoir un niveau où ce concernant quoi il fallait construire des connaissances avait déjà été doté d'un modèle dont l'efficacité s'était manifestée et qui, même si on ne le plaçait pas à la base de l'action descriptionnelle, néanmoins guidait cette action fortement ; cependant que les qualifications recherchées avaient déjà été conceptualisées dans la mécanique classique.

Cependant qu'ici l'on recherche une structure descriptionnelle qualitative qui découle de contraintes imposées – exclusivement – par les modes humains généraux de conceptualiser et la situation cognitive où se trouve un observateur-concepteur qui veut construire des connaissances absolument quelconques concernant des 'microétats', en partant du niveau de connaissance zéro où – hormis le concept général de 'microétat' – rien n'est donné, ni la manière de se doter d'un microétat à qualifier, ni le concept général de qualification définie pour un microétat, ni des modalités d'obtenir telle ou telle sorte de qualification concernant un microétat dont par avance on se serait doté. Ce but là, et l'ascèse qu'il exige, sont commandés par l'objectif d'ériger un milieu conceptuel d'immersion et de référence, maximale général mais rigoureusement structuré, qui permette ensuite de percevoir, par comparaison et entièrement tiré hors des brouillards, le statut conceptuel de chaque élément descriptionnel qui intervient dans le formalisme quantique. En ces conditions, l'utilisation – ici – de modèles de prolongement de la mécanique classique, déborderait notre règle du jeu. Et surtout elle continuerait de cacher les sources et les implications de la représentation mathématique, dans la mécanique quantique, des mesures de grandeurs mécaniques accomplies sur des microétats. Or, parmi les problèmes soulevés par le formalisme quantique, celui des mesures quantiques est probablement celui qui a nourri le plus grand nombre de questionnements et de controverses.

Ces spécifications soulignent que rien de ce qui vient d'être mis en évidence n'entraîne que l'insertion d'emblée, dans le formalisme quantique, de modèles de prolongement de la mécanique classique, soit répréhensible de quelque point de vue : il est bien clair que sans de telles insertions il n'y aurait simplement pas de mécanique quantique.

2.3.2.2. *La codage-cadre d'espace-temps et la grille 'primordiale' de qualification d'un microétat*

Le contenu de ce paragraphe est crucial²⁰. Il exige une attention particulière. Seulement s'il est assimilé à fond il pourra permettre une réelle compréhension de la solution du problème des mesures quantiques proposée dans la deuxième partie de ce travail.

J'ai mis en évidence que selon une définition classique générale plus ou moins explicite une "grandeur qualifiante" doit introduire une "dimension sémantique" et un "spectre" formé de l'ensemble de toutes les "valeurs" de cette dimension sémantique qui sont prises en considération²¹. Mais dans le cas d'un microétat me_G correspondant à une opération de génération G tout simplement on ne dispose d'aucune dimension sémantique préconstruite dont on sache qu'elle peut s'appliquer à me_G , et en quel sens. Comment concevoir une

²⁰ Son contenu a pu être considérablement amélioré face à ses variantes précédentes grâce à des élucidations qui m'ont été révélées par des échanges privés avec Henri Boulouet au cours de l'élaboration de sa thèse, intitulée *Ingénierie Système Relativisée* (Boulouet [2013]).

²¹ Pas qui 'existent', ce qui serait un concept non-effectif, mais qui *sont prises en considération de façon délibérée et constructive* (par exemple, un mètre de couturier qui ne porte pas des marques entre deux traits successifs distancés l'un de l'autre de 1 millimètre, ne prend pas en considération des valeurs de longueur spécifiées avec une précision supérieure à celle qui correspond au millimètre).

“grandeur qualifiante” face au but de qualifier un ‘microétat’, et avant toute modélisation, au niveau zéro de connaissances pré-acquises concernant ce concept, qui pour l’instant n’est qu’un lieu d’accueil désigné par un mot introduit par prolongement du langage de la microphysique classique ? Comment réaliser cela ?

Dans les conditions cognitives où l’on se trouve en ce qui concerne ce but, tout ce qu’un concepteur-observateur humain peut faire est de tenter de soumettre le microétat me_G qui correspond à une opération de génération G , à une “interaction-test” physique – dénotons-la \mathbf{T} – réalisable à partir du niveau macroscopique à l’aide de manipulations d’un groupement d’appareil macroscopiques. Dénotons globalement $A(\mathbf{T})$ un tel groupement. Il apparaîtra dans ce qui suit que, malgré la non perceptibilité d’un microétat lui-même, cela permet néanmoins de fonder sur des interactions-test \mathbf{T} une toute première strate de grilles de qualification et une première strate descriptionnelle correspondante, une strate proprement primordiale ; mais si et seulement si l’on peut assurer les deux conditions suivantes :

* Chaque réalisation par $A(\mathbf{T})$ d’une interaction-test \mathbf{T} avec un exemplaire du microétat à étudier doit produire un groupe de m marques physiques directement observables $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ (m : un entier qui en général est petit, rarement plus grand que 4 et souvent égal à 1) sur/par les enregistreurs de l’appareil $A(\mathbf{T})$: marque sur un milieu sensible à des micro-impacts, un son émis par un compteur lors d’interaction avec une entité microscopique invisible, position d’aiguille d’un chronomètre, etc.²²

Cette première condition est triviale.

** L’on doit arriver à définir un *codage* de tout groupe de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$, au sens suivant. Soit une interaction-test \mathbf{T} entre le microétat à étudier me_G et l’appareil $A(\mathbf{T})$. Soit $n = 1, 2, \dots$ un indice qui, dans une suite *indéfinie* de répétitions de la succession $[G.\mathbf{T}]$ d’une réalisation de l’opération G de génération de me_G suivie immédiatement par une réalisation de l’opération-test \mathbf{T} , singularise une de ces répétitions, fixée mais quelconque. Et soit $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ le groupe des m marques physiques directement observables produit par la réalisation d’indice n de la succession $[G.\mathbf{T}]$, dénotée $[G.\mathbf{T}]_n$. Si a tout groupe $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques produit par la réalisation d’une succession $[G.\mathbf{T}]_n$, distinguée par un indice n quelconque, l’on peut de quelque manière faire correspondre une “valeur” v_j – numérique ou non – et une seule, appartenant à un “spectre” $(v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_J)$ avec $j = 1, 2, \dots, J$ et J fini, qui puisse caractériser l’interaction-test \mathbf{T} , alors nous dirons que l’on a défini pour les groupes de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ produits par l’interaction-test \mathbf{T} un codage

$$C(\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \leftrightarrow v_j \text{ avec } j = 1, 2, \dots, J$$

qui permette de communiquer concernant les effets de cette interaction, faire des confrontations intersubjectives, rechercher des consensus, bref, les intégrer à la base d’une démarche scientifique^{23 24 25}.

²² Le microétat me_G lui-même, isolément, ne ‘manifestera’ rien. *Tout* ce qui sera observable sera effet de l’interaction entre $A(\mathbf{T})$ et le microétat supposé me_G auquel on assigne a priori une certaine extension définie d’espace-temps, celle où l’on provoque l’‘interaction’.

²³ Attention ! Selon cette définition, dans le contexte présent le mot ‘coder’ ne veut *pas* dire ‘rendre secrète la signification’, mais juste au contraire, *construire ou spécifier une signification qui relie au volume du connu le groupe* $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques observé.

²⁴ Ce cardinal J est posé être *fini*. Ceci correspond à ce qui se passe toujours factuellement – par construction – car toujours on définit une zone d’observation finie et des grilles d’observation munies d’unités, notamment d’espace et de temps, qui *discrétisent*. Ceci devient très clair et fondamental dans le cadre de la méthode générale de conceptualisation relativisée (MMS [2006]) où l’entière construction est développée sous condition d’effectivité.

²⁵ L’exemple donné dans le paragraphe précédent concernant la grandeur ‘quantité de mouvement’ définie dans la mécanique quantique, peut aider à vite comprendre cette condition de codabilité.

Cette deuxième condition, à la différence de la première, est loin d'être triviale. Au contraire, dès qu'on la considère elle soulève des questions qui peuvent sembler insurmontables. En effet, mettons sous loupe la situation conceptuelle.

Un groupe de marques physiques directement observées $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ – *en tant que marques* – déclenchent bien dans l'esprit d'un observateur humain un "phénomène" au sens psychophysique de Husserl. Mais les *qualia* liées à ce phénomène psychique là, n'établissent aucune connexion avec le microétat me_G , auquel pourtant elles sont conçues comme étant reliées certainement *via* l'interaction-test T qui est posée avoir produit les marques ; ce sont des qualia propres – exclusivement – aux marques observées : Entre le microétat me_G , juste présumé exister, et le phénomène psychophysique déclenché par les marques enregistrées, il y a une radicale coupure sémantique observable.

Et plus en amont, un ensemble de marques physiques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$, n'indique même pas quelque catégorie sémantique dénommée.

Il est évidemment essentiel de dépasser ce hiatus qui sépare la sémantique sensorielle propre aux groupes de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$, de la notion de microétat ' me_G ' qui, elle, telle qu'elle a été introduite initialement, est par construction encore entièrement vide de toute sémantique propre, tant qu'on n'a pas encore assuré les conditions de possibilité d'engendrer une telle sémantique, précisément en associant à ' me_G ' des significations, i.e. des qualifications.

A fortiori, dans cette phase de construction de connaissances absolument premières où nous place par hypothèse la démarche amorcée ici, on ne dispose évidemment pas non plus de représentations formelles de "grandeurs" qui sont conçues et représentées à l'avance²⁶.

D'autre part, en absence de tout codage, comment pourrait-on communiquer concernant les résultats factuels $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de l'interaction-test T , chercher des consensus, en développer des conséquences, l'insérer dans la conceptualisation scientifique intersubjective ? Que faut-il conclure de cette situation conceptuelle ? Sommes nous piégés dans un situation circulaire inextricable ?

Non, la réponse qui se révèle et s'impose n'est pas celle là. Elle est du même genre que celle exprimée par la décision méthodologique *DMI* : Il faut se secouer avec violence et se débarrasser définitivement de cette tendance insidieuse qui a subrepticement pris possession de l'esprit des concepteurs-observateurs humains dont la pensée scientifique s'est forgée selon le postulat implicite que l'on se trouverait à la recherche de vérités préexistantes et que l'action à dérouler en recherche scientifique serait une action de pure découverte. Une fois de plus, il ne s'agit nullement de cela. Il s'agit d'organiser une structure de manières d'agir et de dire qui, dans le contexte considéré, permette de construire des connaissances qui permettront de prédire et de modéliser. Il s'agit – sans s'emprisonner dans des buts impossibles de 'découvertes' de 'faits vrais' qui en ce cas tout simplement ne préexistent pas – de trouver les posés méthodologiques qui permette d'organiser un pont qui unisse ce dont on dispose, à ce qu'on veut atteindre. Un codage $C(\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \leftrightarrow (v_j, j = 1, 2, \dots, J)$ est précisément un tel pont et il faut expliciter et poser des conditions suffisantes pour le construire. Point. Voilà le problème tout nu.

²⁶ Comme la grandeur dynamique quantité de mouvement $p = f(m, d, \Delta t) = m(d/\Delta t) = mv$ (qui dans le formalisme quantique, via les parenthèses de Poisson, acquiert une autre représentation mathématique, $(ih/2\pi i)\partial/\partial x$, tout en conservant la même représentation conceptuelle qu'en physique classique.

Mais en quoi une telle condition suffisante pourrait-elle consister ? Au premier abord la question est déroutante. Si l'on considère d'abord le cas d'une marque μ_{kn} physique et directement perceptible qui est isolée, alors – intrinsèquement – une telle marque est en général beaucoup trop largement catégorielle : juste un point d'impact sur un milieu sensible, comme tout autre tel point ; ou un son produit par un appareil de comptage, comme tout autre tel son. C'est dire qu'une telle marque ne comporte pas d'aspects intrinsèques, propres, qui soient à la fois perceptibles et spécifiques de cette seule marque-là. De par ses caractères propres, une seule marque physique directement perceptible μ_k n'offre aucune prise à partir de laquelle il soit possible de lui faire correspondre une "valeur" T_j – numérique ou non – et une seule, appartenant à un "spectre" $(v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_J)$ avec $j = 1, 2, \dots, J$ et J fini, qui puisse caractériser l'interaction-test T .

Si l'on considère alors un cas où se forme un groupe de plusieurs marques, et on considère ce groupe comme un tout, on peut chercher une caractéristique globale, observable et spécifique, que tout tel groupe posséderait nécessairement quel que soient T et l'indice d'ordre n de la succession $[G.T]_n$ considérée. Or sur cette voie il apparaîtrait qu'une telle caractéristique existe : deux groupes de marques $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ et $\{\mu_{kn'}\}, k = 1, 2, \dots, m, n' \neq n$, possèdent – nécessairement et pour tout T et tout (n, n') – des configurations d'espace-temps, ou d'espace seulement ou de temps seulement – qui peuvent être mutuellement différentes ou identiques. Car, étant une entité physique perceptible par le concepteur-observateur humain, une marque μ_k est nécessairement perçue avec une location d'espace-temps. Dans le cas d'une marque isolée cette location reste extrinsèque à la marque, et en général elle n'en est pas spécifique. Mais lorsqu'il s'agit d'un groupe de plusieurs marques, et face à un référentiel d'espace-temps doté d'une origine et d'unités définies, les locations individuelles constituent une certaine configuration d'espace-temps propre à ce groupe, intériorisée par ce groupe, qui peut en être spécifique²⁷.

Suivons ce fil.

Associons à l'appareil $A(T)$ un référentiel d'espace-temps $Réf(Et)$ doté d'une origine d'espace-temps fixée et d'unités spécifiées. Lors du début de chaque nouvel enregistrement d'une durée, l'origine de temps dans $Réf(Et)$ est remise à zéro, comme dans le cas des tests sportifs. Une réalisation de la succession $[G.T]$ correspondante au microétat étudié me_G , produira un groupe de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ ayant une configuration d'espace-temps donnée relativement à $Réf(Et)$; dénotons-la $Config.Et(T, Réf(Et))$. (En conséquence du zéro du temps renouvelé pour chaque succession $[G.T]$ l'estimation de temps n'aura qu'une signification locale, relative à la succession considérée).

Soit maintenant une suite $[G.T]_n, n = 1, 2, \dots, N$ de répétitions de la succession d'opérations $[G.T]$, avec N un entier très grand. Elle produira N groupes $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$. Dénotons par $Config.Et(T, n, Réf(Et))$ la configuration d'espace-temps face à $Réf(Et)$, du groupe produit par la succession $[G.T]_n$ ²⁸.

Si l'on veut éviter des particularisations arbitraires on doit concevoir qu'une 'bonne'

²⁷ Penser au cas paradigmatique d'une mesure de quantité de mouvement par la méthode du "temps de vol" exposée dans 2.3.2.1. Dans ce cas la valeur recherchée de la grandeur mesurée (quantité de mouvement) a été identifiée à l'aide de la durée $\Delta t_n = t_n - t_0$ et la distance $|d_n| = \sqrt{d_{xn}^2 + d_{yn}^2 + d_{zn}^2}$ fournies par l'appareillage sur la base des marques physiques directement observées "t" et un point sur l'écran sensible. L'identification a été faite par un calcul dicté par la structure fonctionnelle du concept qualifiant préconstruit de 'quantité de mouvement' $p = f(m, d, \Delta t) = m(d/\Delta t) = mv$. On perçoit l'analogie, même si la situation considérée ici est plus fondamentale que celle qui concerne toute mesure de la mécanique quantique, et notamment celle par 'time of flight', puisqu'ici n'est donné aucun concept préconstruit de grandeur qualifiante.

²⁸ L'exemplaire du microétat me_G qui avait été mis en jeu aura, en général, été "consommé" après chaque succession $[G.T]$, il sera changé, devenu non réutilisable.

interaction-test \mathbf{T} produit en général, lors de répétitions, des groupes de marques dont les configurations $Config.Et(\mathbf{T}, n, Réf(Et))$ ne seront pas toutes identiques. Mais nous admettons d'autre part qu'en général chaque telle configuration ne sera pas non plus différente de toutes les autres. Car si c'était le cas, l'interaction-test \mathbf{T} serait une source de parfait hasard (randomness), ce qui dans d'autres contextes serait précieux, mais ici conduirait à éliminer \mathbf{T} de la catégorie des candidats inintéressants pour être répertoriés en tant que 'bonnes' interactions-test. En effet ici nous recherchons à discerner les conditions à imposer à un processus de "qualification" dont les résultats soient dotés de régularités statistiques (en général) capables de caractériser le microétat étudié via l'interaction-test considérée, et cela exige un nombre fini de qualifications possibles, stables et mutuellement distinguables sans ambiguïté. Nous exigeons donc explicitement que, avec une 'bonne' interaction-test \mathbf{T} , l'on voie se réaliser tantôt une configuration d'espace-temps $Config.Et(\mathbf{T}, n, Réf(Et))$ du groupe de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ enregistré, tantôt une autre, parmi un nombre fini H de telles configurations possibles, stables et mutuellement distinguables sans ambiguïté. (En particulier le nombre H peut se réduire à 1, mais en général il doit être conçu comme étant différent de 1 si l'on ne veut pas introduire une exigence arbitrairement restrictive). Alors, étant donné que pour toute valeur de l'indice n l'on obtient l'une ou l'autre des H configurations possibles pour le groupe $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques observables enregistrées, nous pouvons réindexer les configurations d'espace-temps par un indice $h = 1, 2, \dots, H$ au lieu de l'indice n . Donc désormais nous écrivons $Config.Et(\mathbf{T}, h, Réf(Et))$.

L'on peut donc assigner à chaque groupe de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ rencontré dans une suite $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m, n = 1, 2, \dots, N$ d'enregistrements de tels groupes, une valeur donnée de l'indice h et une seule de la configuration d'espace-temps $Config.Et(\mathbf{T}, Réf(Et))$ correspondante. Ainsi l'on aura finalement établi un codage du type $C(\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \dots v_j$ avec $j = 1, 2, \dots, J$, à savoir un codage fondé sur des localisations face aux dimensions-"cadre" d'espace et de temps (cf. MMS [2002a, 2002b, 2006]). Dénotons par $Cod.cadre(Et)$ un tel codage :

$Cod.cadre(Et)$: $C(\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \leftrightarrow Config.Et(\mathbf{T}, h, Réf(Et))$, avec $h = 1, 2, \dots, H$.

Le mot 'cadre' symbolisé dans la dénomination de ce codage souligne qu'il n'y intervient strictement aucune référence à tel ou tel contenu qualifiant classique connu à l'avance ("grandeur mécanique" (énergie, vitesse, quantité de mouvement, position) ou quelque "grandeur" classique d'une autre nature) qui soit assignable au microétat qualifié lui-même.

Notons maintenant que :

(a) Le concept dénoté $Config.Et(\mathbf{T}, Réf(Et))$ peut être regardé comme une dimension sémantique 'liée' au microétat étudié me_G (bien que pas perçue à la manière classique comme étant "possédée" par lui) ;

(b) Cette dimension sémantique porte un spectre de valeurs, $\{Config.Et(\mathbf{T}, h, Réf(Et))\}, h = 1, 2, \dots, H$;

(c) Toute réalisation $[G.\mathbf{T}]_n$ d'une succession $[G.\mathbf{T}]$ produit un groupe correspondant $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques physiques observables sur les enregistreurs de l'appareil $A(\mathbf{T})$;

(d) Ce groupe de marque est codable via le codage $Cod.cadre(Et)$ en termes d'une valeur $Config.Et(\mathbf{T}, h, Réf(Et))$ portée par la dimension sémantique $Config.Et(\mathbf{T}, Réf(Et))$.

Donc toutes les données sont réunies afin d'associer à un microétat quelconque la suivante grille de qualification primordiale liée à l'interaction-test \mathbf{T} et définie pour un microétat, dénotée $gq.primord.(\mathbf{T}).me_G$:

Def.(gq.primord.(\mathbf{T}). me_G).

L'association $[Config.Et(\mathbf{T}, Réf(Et)), \{Config.Et(\mathbf{T}, h, Réf(Et))\}, [G.\mathbf{T}], Cod.cadre(Et)]$, avec $h = 1, 2, \dots, H$, constitue une grille de qualification primordiale définie pour le microétat me_G .

Cette transposition au cas d'un microétat, du concept classique de grille de qualification vide donc ce concept de tout contenu sémantique construit et dénommé préalablement et que l'on puisse considérer comme étant 'possédée' exclusivement par le microétat considéré lui-même. Elle crée de toutes pièces un type nouveau de contenu sémantique explicitement et spécifiquement lié aussi à l'interaction-test \mathbf{T} . Et nous avons montré sous loupe pourquoi – inévitablement – cette transposition sépare à son intérieur ce vide de toute sémantique préexistante de type classique. Nous introduisons donc le nouveau langage approprié suivant.

Parce que l'unique effet directement perceptible d'un acte d'interaction-test \mathbf{T} consiste en un groupe $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques physiques observables produites sur/par les enregistreurs de l'appareil $A(\mathbf{T})$, dépourvues de toute quale assignable au microétat examiné lui-même, nous dirons qu'il s'agit d'un groupe de marques "de transfert" sur les enregistreurs de $A(\mathbf{T})$ (ou des marques "transférées").

Parce que la genèse de ce groupe de marques implique de manière non séparable le microétat étudié *et* l'appareil $A(\mathbf{T})$, nous parlerons d'une manifestation observable *reliée* au microétat étudié – pas d'une manifestation "de" ce microétat.

Et parce que l'entité qualifiée n'avait jamais encore été conceptualisée auparavant, nous parlerons de qualification transférée *primordiale* ou *de base*.

Nous venons de définir une strate de qualifications primordiales transférées liées à un microétat me_G . C'est une strate de connaissances extrêmes, premières, construites indépendamment de toute qualification classique préexistante, et qui, pour tout microétat donné, établit une référence fixe valide pour toute qualification subséquente de ce microétat.

L'on pourra désormais confronter de façon intersubjective ces qualifications de référence fixe, établir des consensus les concernant, les développer vers le haut de la verticale des conceptualisations via d'autres qualifications : Nous venons de poser une petite dalle de fond sur de plancher du volume du conceptualisé. Car en effet il s'agit d'un premier accès au conceptualisé, au connu. La décision méthodologique *DMI* par laquelle nous avons posé la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ afin de spécifier un microétat en tant qu'objet d'étude, ne nous avait pas encore extrait de ce vide de toute connaissance de, spécifiquement, me_G , où nous avons placé délibérément le début de la démarche tentée ici. On ne "connaît" que par des qualifications. Ce qui n'a jamais été qualifié n'est pas "connu". L'opération de génération de $G \leftrightarrow me_G$ était encore strictement non qualifiante. Mais le codage-cadre $C(\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \leftrightarrow h$, avec $h = 1, 2, \dots, H$ établit enfin un brin de connaissance d'un type strictement primordial lié spécifiquement au microétat ' me_G '. Un enchaînement

$$(POC)_h \equiv [G - me_G - DM1 - \mathbf{T} - \{\mu_{kh}\}, k = 1, 2, \dots, m], h = 1, 2, \dots, H$$

constitue un petit pont opérationnel-conceptuel qui, pour la valeur h de l'indice de configuration d'espace-temps des marques observables, relie l'accomplissement d'une opération de génération G , à l'effet observable $\{\mu_{kh}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de la performance immédiatement successive à G d'une opération d'interaction-test \mathbf{T} , conceptualisé en termes de cette goutte de conceptualisation primordiale dénotée $Config.Et(\mathbf{T}, h, Réf(Et))$, $h = 1, 2, \dots, H$. Dans une suite de successions $[G.\mathbf{T}]_n$, $n = 1, 2, \dots, N$ nous disposons désormais, pour

chaque valeur de l'indice n , d'un tel petit pont jeté au-dessus de ce vide de perceptibilité directe et de *qualia* qui caractérisent la situation cognitive dans laquelle on se trouvait encore à la suite de la performance de l'opération G seulement, liée à me_G via DMI .

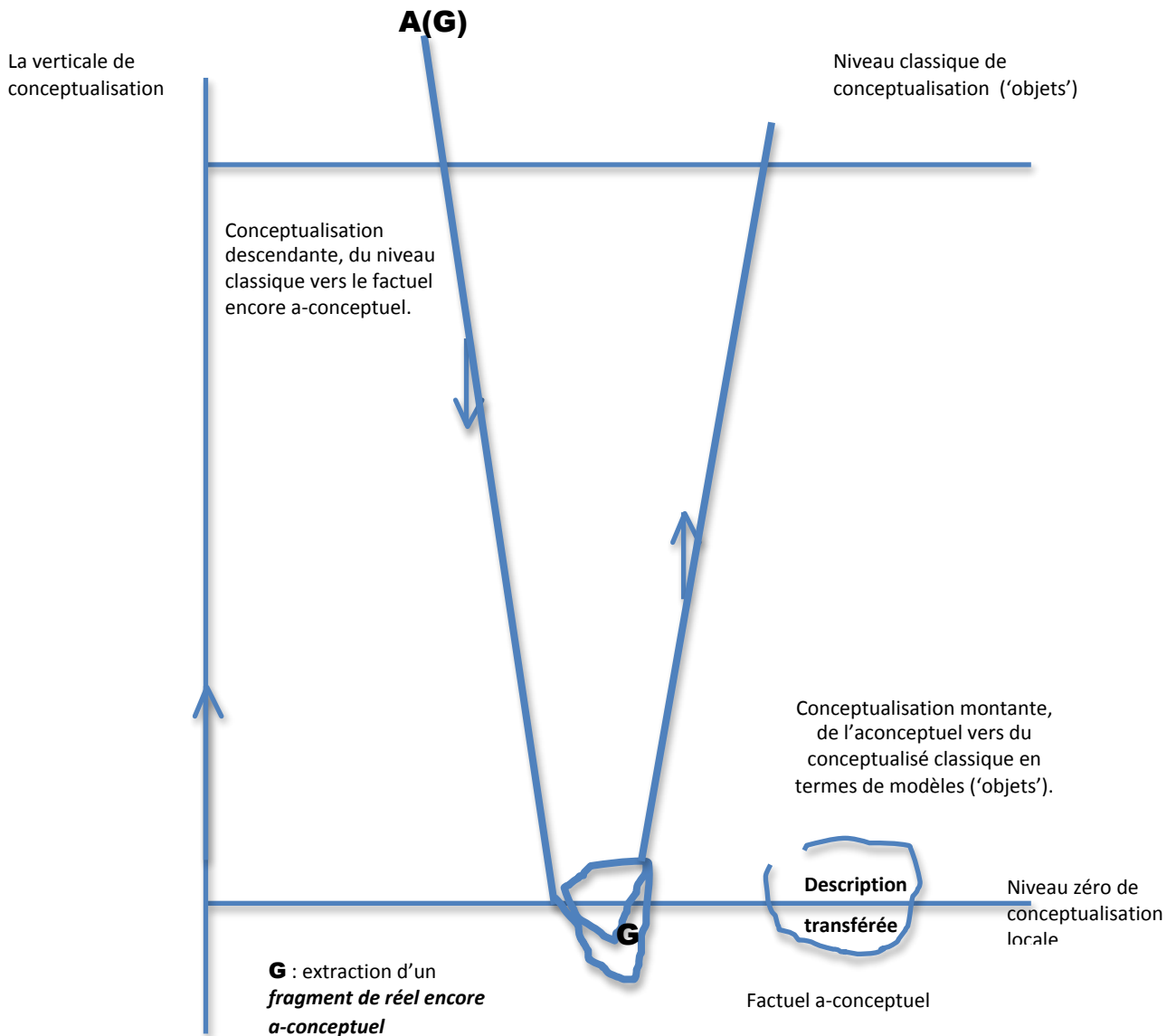


Fig. 1: Opération primordiale de qualification transférée.

En dessous de ce pont s'opère à chaque fois un remarquable et curieux changement de sens de progression de notre action cognitive à caractère finaliste, le long de la verticale des phases de nos conceptualisations : Au cours de la phase ' G ' cette action délibérée s'avance – à partir d'un appareil classique "de génération" $A(G)$ – du 'haut' dominé par la conceptualisation classique, vers le non-classique zéro local de connaissance qui marque le sol *évolutif* de la verticale de nos conceptualisations ; elle atteint ce sol et s'y enfonce dans du réel physique encore aconceptuel ; là elle engendre-et-capture en tant qu'entité-à-qualifier, un fragment de réel physique pré-baptisé ' me_G ' mais qui est encore non-connu, lui, spécifiquement ; puis cette action inverse son sens et, du 'bas' extrémal non-classique, elle s'avance de nouveau vers le 'haut' classique devenu lointain, en accomplissant une

qualification toute première du fragment de réel physique engendré, qui désormais est capturé dans la reproductibilité posée par *DMI*.

Là, dans cette inversion représentée dans la *figure 1* il s'agit d'un geste qui, à partir du réel encore a-conceptuel, tisse un fond du volume du "connu". Sur ce fond du volume du connu, bien que l'on sache déjà quelque chose, on ne peut pas encore *comprendre*. Car comprendre implique relier (prendre ensemble). Le "sens" et la "compréhension" sont des concepts générés par un *groupement* de données qui permette un 'dedans' et un 'dehors' et des mises en relation avec d'autres tels groupements, comme une "distance", comme des "comparaisons" avec d'autres descriptions construites avant, séparément, des "*références*". Cependant que face à des données dépourvues de toute structuration interne, et considérées isolément, ces concepts simplement n'existent pas encore.

Cependant que le codage-cadre $C(\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \leftrightarrow h$, avec $h = 1, 2, \dots, H$ du résultat directement observable $\{\mu_{kh}\}, k = 1, 2, \dots, m$ d'une succession $[G.T]$ ne relie ce résultat à rien d'autre. Entre le connu signifiant, et le résultat $\{\mu_{kh}\}, k = 1, 2, \dots, m$ d'une succession d'opérations $[G.T]$ codé selon *Cod.cadre(Et)*, il subsiste un hiatus radical. L'on est en présence d'un connu pur nouveau, d'une donnée déjà définie, mais première au sens strict de cette expression, et isolée. Il en est ainsi parce qu'une interaction-test T définie pour des microétats est absolument non spécifiée de quelque point de vue sémantique déjà installé : Ce n'est qu'un 'test' quelconque qui peut s'appliquer à des boîtes noires dénotées ' me_G ' et qui produit des données strictement premières liées à ces boîtes noires. Pour cette raison le résultat d'un ensemble statistique d'opérations-test $[G.T]$ – même lorsqu'il a été codé en termes communicables selon *Cod.cadre(Et)* – reste comme piégé à la surface du réel physique aconceptuel. Elle enveloppe cette surface dans une sorte de brume de 'connaissances non-signifiantes' qui sépare le réel physique encore strictement aconceptuel, du volume du connu doté de signification, comme du coton d'emballage sépare une statue ouvragée en céramique des parois de la boîte. Bien entendu, en expérimentant, dénommant, rapportant, comparant, etc., cette brume peut être dissipée, transformée en connaissances signifiantes, comme cela s'est sans doute passé toujours tout au cours de l'histoire du connu, et comme cela continue de façon incessante (par exemple lorsqu'on établit des tables de logarithmes, ou des tables de manières d'intégrer ou de solutions d'intégrales, ou que l'on fait des examens chimiques ou spectraux de molécules nouvelles, etc. Mais ces processus d'introduction dans le volume du conceptualisé signifiant, sont locaux et ils sont longs.

2.3.2.3. *Descriptions transférées de base fondées sur des représentations de "grandeurs" importées de la conceptualisation classique*

Or il est également possible de réaliser des qualifications transférées primordiales des microétats, non pas à l'aide d'interactions-test encore non conceptualisées, mais à l'aide de "grandeurs" X importées de la conceptualisation classique, à structure conceptuelle pré-construite, et déjà dénommées ; notamment des "grandeurs mécaniques" redéfinies pour des microétats : On peut l'affirmer, car ceci a été effectivement réalisé dans le cas du formalisme de la mécanique quantique.

Une telle grandeur X redéfinie pour des microétats – de par sa construction initiale classique – comporte :

(a) Une dimension sémantique dénommée (qui soit est introduite en tant qu'une grandeur fondamentale (masse, durée, longueur, charge, etc.) soit est structurée conceptuelle-

ment en termes de telles grandeurs fondamentales (comme $p = md/dt(\Delta x)$).

(b) La définition d'une opération de $Mes(X)$ à substituer au test \mathbf{T} considéré plus haut (donc à la place de successions $[G.\mathbf{T}]$ interviendront en ce cas des successions $[G.Mes(X)]$).

(c) Un spectre $(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_J)$ de valeurs de X .

Classiquement, cette dimension sémantique et ce spectre de valeurs sont conçus comme des "propriétés" des entités physiques elles-mêmes qu'ils concernent. Afin de les redéfinir pour des microétats, il faut changer foncièrement cette manière de concevoir les concepts d'une dimension sémantique et de spectre de valeurs associables à cette dimension, il faut les mettre en accord avec le fait qu'un microétat n'est pas observable directement par les sens biopsychiques, qu'il ne se manifestera que via des groupes de marques observables enregistrées sur des récepteurs d'appareils non-biologiques, des groupes de marques qui ne portent aucune quale liée à la signification dénotée ' X ', ni associable avec le microétat considéré lui-même, séparément de l'interaction de mesure avec l'appareil utilisé. Donc il faudra redéfinir l'opération physique de mesure $Mes(X)$ "qui convient". Mais :

Afin de pouvoir établir quelle opération de $Mes(X)$ "convient" en un tel cas, il sera absolument nécessaire de spécifier un modèle général de microétat introduit par l'opération de génération G .

Car sans aucun tel modèle il est tout simplement *inconcevable* de pouvoir distinguer entre une opération qui convient pour mesurer *telle* grandeur X , et une opération qui ne convient pas. C'est précisément la différence spécifique face au cas d'une opération-test \mathbf{T} qui est libre de toute restriction a priori.

Cette remarque dément a priori et radicalement l'affirmation orthodoxe selon laquelle le formalisme de la mécanique quantique serait 'pur' de tout modèle. Et dans la deuxième partie de ce travail il apparaîtra que la conclusion énoncée plus haut est l'un des plus fertiles apports de l'approche préalable de référence développée dans ce chapitre.

Pourtant, notons-le bien, puisque le résultat directement observable d'une succession $[G.Mes(X)]$ appliquée à un microétat me_G consiste en un groupe $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques physiques transférées sur les récepteurs de l'appareil $A(X)$ utilisé – exactement comme dans le cas d'une interaction-test \mathbf{T} – il faudra en ce cas aussi pouvoir définir un codage qui, en l'absence de qualia assignables au microétat lui-même et isolément, associe à tout tel groupe de marques une valeur et une seule parmi les valeurs du spectre considéré (cf. l'exemple de 2.3.1). Un tel codage qui relie une description primordialement transférée, à une grandeur classique X , via un modèle général de microétat, sera dénoté $Cod(G, X)$.

En supposant que toutes les conditions mentionnées ont été remplies en partant d'une grandeur classique X donnée, on peut maintenant définir d'une manière tout à fait analogue à celle mise en œuvre pour une interaction-test \mathbf{T} , une grille de qualification primordiale $gq.primord.(X).me_G$ en termes de valeurs X_j d'une grandeur classique X redéfinie pour des microétats :

Def.(gq.primord.(X).me_G)

L'association $[me_G \leftrightarrow G, X, \{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_J\}, Mes(X), Cod(G, X)]$ constitue

une grille de qualification primordiale liée à une grandeur classique X redéfinie pour le microétat me_G .

Puisqu'un $Cod(G, X)$ – à la différence du codage $Cod.cadre(Et)$ des effets observables d'une interaction-test T , (2.3.2.2) – doit être accompli en termes des valeurs X_j du spectre $(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_J)$ de la grandeur classique X redéfinie pour des microétats, il doit introduire une relation de un-à-un :

$$Cod(G, X) : (\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m) \leftrightarrow X_j, \text{ avec } j = 1, 2, \dots, J.$$

Et, comme annoncé, un codage $Cod(G, X)$:

- Introduit a priori des significations préconstruites X_j qui connectent directement le microétat examiné me_G à la conceptualisation classique.

- Afin de permettre l'identification de critères concernant l'adéquation, ou non, d'une opération donnée, en tant qu'opération "de $Mes(X)$ " associable au microétat me_G que l'on veut qualifier, il est impérativement nécessaire de disposer d'un modèle général bien spécifié de 'microétat'.

En bref :

Tout processus de $Mes(X)$ envisagé, est soumis a priori à la condition d'assurer de quelque manière la possibilité du codage $Cod(G, X)$ pour, spécifiquement, le microétat à qualifier $me_G \leftrightarrow G$: c'est la possibilité d'un codage " $Cod(G, X)$ " qui assure la pertinence d'un appariement $(G, Mes(X))$ ²⁹.

Cette condition est très loin d'être triviale. Car la manière d'assurer la possibilité d'un codage "*adéquat*" pour signifier la valeur d'une grandeur X définie à l'avance ne peut pas être spécifiée en termes généraux. Une telle possibilité doit être examinée relativement à la représentation conceptuelle-formelle de la grandeur X , aux implications physiques-opérationnelles de cette représentation, au modèle de microétat supposé. Toutefois, notons à nouveau ce fait essentiel :

Les groupes de résultats physiques directement observables $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ produits par des successions $[G.Mes(X)]$ où X désigne une grandeur classique redéfinie pour des microétats et l'opération $Mes(X)$ est 'adéquate' pour désigner une valeur définie de cette grandeur là, *restent*, eux, des qualifications transférées primordiales.

Ces qualifications laissent en dessous d'elles ces mêmes *vides* de qualia perçues *sur* l'entité à qualifier elle-même, des *vides* surmontés par cette même sorte de petits ponts qui sont la signature de toute qualification transférée primordiale, et qui unissent un fragment de réel physique encore a-conceptuel, à du conceptualisé intersubjectif. Les significations classiques $X_j, j = 1, 2, \dots, J$ introduites par le $Cod(G, X)$ sont apposées en l'absence

²⁹ Cela conduira dans la deuxième partie de ce travail à séparer l'action de reconstruction du formalisme en trois étapes distinctes, une qui concerne les microétats non-liés à opération de génération non-composée, une deuxième qui concerne les microétats non-liés à opération de génération composée, et une troisième qui concerne les microétats liés, à opération de génération 'naturelle' et révolue, représentable comme composée. Tout cela, à partir d'un formalisme mathématique – la formulation Hilbert-Dirac actuelle – qui ne contient *pas* le concept d'opération de génération d'un microétat individuel, physique, et qui confond ce concept fondamental, avec celui de 'préparation pour mesure du ket d'état'. On imagine à l'avance l'état, dans un tel contexte, de la question de codabilité.

de toute qualité perçue, via la représentation conceptuelle-formelle abstraite en laquelle consiste la redéfinition de la grandeur X pour des microétats.

Mais, nonobstant tous ces traits plus ou moins communs avec le cas des codages $Cod.cadre(Et)$ des résultats d'interactions-test T , la spécificité introduite par le concept de $Cod(G, X)$, est loin d'être mineure, puisque :

- Les codages – en ce cas – dotent les résultats de mesure, de sens, d'intelligibilité, ils en font du connu compréhensible.
- Les qualifications de microétats qui interviennent dans les algorithmes mathématiques de la mécanique quantique se trouvent précisément dans ce cas où les qualifications recherchées sont reliées d'emblée aux grandeurs dynamiques de la mécanique classique macroscopique.

Pour clore, ajoutons la remarque suivante, qui se révélera d'importance cruciale :

La $def.(gq.primord.(X).me_G)$ et le concept de $Cod(G, X)$ n'impliquent aucune restriction concernant la possibilité de l'obtention, par un et même acte de mesure, d'un codage simultané de la valeur à assigner à deux grandeurs classiques X et Y distinctes redéfinies pour le microétat me_G : cette question est laissée ouverte.

2.3.2.4. Conclusion sur 2.3.2

- La démarche développée dans ce travail concerne la catégorie **générale** des descriptions transférées de base des microétats.
- Le domaine propre des qualifications mécaniques des microétats est contenu dans le domaine général des qualifications transférées de base des microétats.

Cette situation admet la représentation de la *figure 2* :

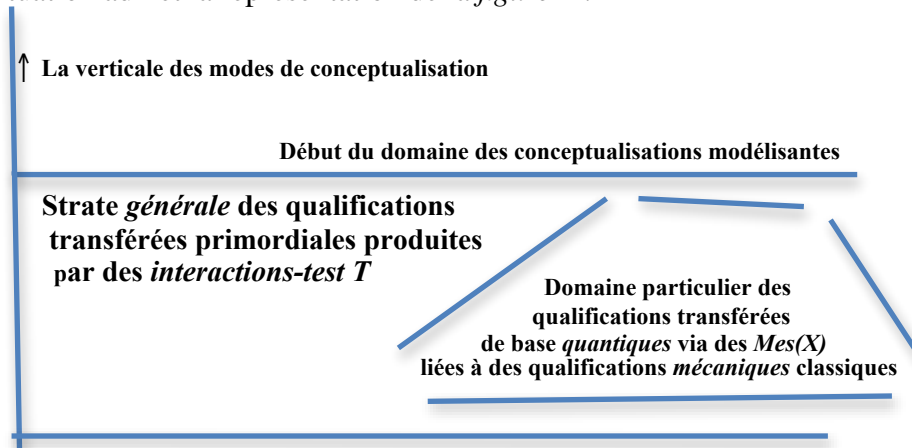


Fig. 2: Qualifications transférées de base produites par des interactions-test, et qualifications mécaniques quantiques produites via des mesures de grandeurs **classiques** redéfinies pour des microétats.

Les qualifications transférées primordiales qui correspondent à des interactions-test T encore dépourvues de toute relation avec des “grandeurs” classiques, notamment mécaniques, se trouvent donc à l'extérieur du domaine de la mécanique quantique. Elles restent emprisonnées dans la strate primordiale où elles s'engendrent. Mais leur codage en termes

de configurations d'espace-temps du groupe de marques enregistré définit une bande frontalière extrême de la strate des qualifications transférées primordiales, et par cela elles établissent un élément de référence éclairant.

2.3.3. Deux conséquences du concept de grille de qualification applicable à des microétats

L'élaboration de 2.3.2 implique deux traits notables, l'un – déjà signalé – concerne le concept de 'propriétés' ; l'autre concerne la relation entre qualification et modèle. Dans ce qui suit nous focalisons l'attention un peu plus, mais brièvement, sur ces deux traits.

2.3.3.1. Qualifications de microétats et 'propriétés'

Afin d'établir le codage-cadre $Cod.cadre(Et)$ et les deux définitions des grilles de qualification $Def.gq.primord.(T).me_G$ et $Def.gq.primord.(X).me_G$ il n'a pas été nécessaire de supposer l'existence permanente, pour un microétat, de 'propriétés'. En fait, à la faveur des exigences comportées par l'introduction des concepts mentionnés, une véritable mutation s'est introduite subrepticement en ce qui concerne les propriétés 'de' l'entité-objet étudiée. Par exemple il est clair que si l'on veut finalement réaliser pour les microétats des qualifications en termes de grandeurs mécaniques, il est obligatoire d'utiliser un certain concept de position, car c'est l'un des deux concepts de base, avec la vitesse, de ce qu'on appelle une mécanique. Le concept de 'position' veut dire 'ici' ou 'là', à tel endroit localisé de l'espace. Il répond à la question courante 'où ?' Or il est apparu que concernant un microétat un tel renseignement ne peut être obtenu que *via* une manifestation physique observable transférée sur des enregistreurs d'appareils. Cela n'exclut pas que cette manifestation physique, marque ou dé clic, puisse se traduire en termes d'une valeur bien définie d'une propriété permanente de position 'possédée' par le microétat étudié. Au premier abord il peut même paraître que le seul fait que la manifestation observable, elle, se soit produite à un endroit d'espace bien défini, suffit pour permettre de parler en termes de position possédée par le microétat étudié, d'une manière séparée de l'interaction de mesure³⁰. Mais en fait ceci n'est nullement le cas. Car rien ne prouve que *ce* qui, lorsque l'enregistrement de la marque s'est produit, a agi de telle manière qu'il se soit engendré une marque quasi ponctuelle sur l'écran sensible d'un appareil, existait dès avant l'émergence de l'enregistrement ; ou que cela ne se trouvait pas ailleurs et s'est ramassé là, etc. Si l'on ne pose *a priori* vraiment aucune ombre de modèle, il n'existe aucune base pour exclure que l'enregistrement final d'une marque observable localisée étiquetée par le mot 'position' ait été créé de toutes pièces par l'interaction-test T ou par l'interaction de mesure $Mes(X)$ considérée. Cette éventualité a été évoquée et discutée (de Broglie [1956]). Par exemple, Einstein a objecté qu'elle impliquerait la possibilité de processus physiques de localisation quasi instantanée à l'intérieur de l'étendue assignée au 'microétat' – qui peut être illimitée – ce qui, pensait-il, pouvait être contraire à la théorie de la relativité. (Notons que – en rigoureuse absence de tout modèle – cette objection ne peut être reçue elle non plus). Or, on l'a vu, à l'intérieur d'une description de base transférée, l'interprétation d'une marque localisée en termes d'une valeur d'une 'propriété' de position possédée de manière permanente par le

³⁰ En mécanique quantique on parle souvent, même pratiquement toujours, de la position de la 'particule', ou de la position du 'système' (même pas du micro-état), et l'une comme l'autre de ces façons de parler conduit à une cohue de confusions entre 'microétat' et modèle de micro-système. En physique des particules élémentaires, par contre, le fait que la 'position' est représentée elle aussi par un 'opérateur', introduit explicitement une certaine distance face au concept classique de "propriété".

microétat étudié, serait un saut au-dessus d'un précipice de conceptualisation.

Cet exemple permet d'estimer l'ampleur de la mutation que subit le concept classique de propriété 'de' une entité-objet, en la stricte absence de toute connaissance préconstruite concernant ces fragments de pure factualité que nous avons dénommés 'microétats'.

Bref, en toute rigueur, on doit raisonner en admettant que les manifestations observables produites par une interaction-test T ou un acte de mesure $Mes(X)$ pourraient être entièrement créées par l'interaction de l'appareil avec l'entité-objet strictement inconnue dénotée me_G , et en tant que propriétés émergentes des enregistreurs de l'appareil, pas du microétat étudié ; le microétat-objet-d'étude n'est pas qualifié isolément par X ou $Mes(X)$.

Les considérations qui précèdent, associées au contenu de 2.3.2, permettent de réaliser quelle structuration conceptuelle complexe – à savoir celle correspondant aux ponts $(POC)_h$ – a été reléguée dans le non-examiné lorsqu'on a *décidé*, juste décidé, quelles opérations physiques sont à accomplir sur un *micro-état* lors d'un acte de 'mesure' de telle ou telle 'grandeur mécanique' définie dans la mécanique classique, dont on a posé à l'avance la signifiante pour des microétats aussi (comme dans le cas de la méthode du temps de vol).

2.3.3.2. Retour sur la relation entre qualifications 'mécaniques' de microétats versus modèle

Nous avons d'abord souligné dans 2.3.2.1 que les qualifications mécaniques spécifiées par le formalisme quantique n'ont pu être définies qu'à partir de modèles classiques prolongés pour le cas des microétats, par la voie d'éléments descriptionnels mathématiques et de définitions correspondantes d'opérations physiques de mesure.

Il est apparu ensuite dans 2.3.2.3 que le codage-cadre $Cod.cadre(Et)$, parce qu'il ne fait aucune référence à quelque modèle, a dû laisser subsister un vide de spécification sémantique qui entraîne une radicale coupure avec les contenus de la conceptualisation classique.

Et il est apparu dans 2.3.2.3 que le recours, pour qualifier des microétats, à des grandeurs 'mécaniques' liées initialement à la conceptualisation classique, n'excluent nullement que les qualifications produites soient des qualifications primordiales transférées, non attribuables au microétat étudié lui-même, dépourvues de qualia et même d'une structure définie d'espace-temps. Mais que dans ce cas – afin que l'adéquation de telle ou telle opération de mesure soit définissable, et afin que le résultat d'un acte de mesure soit doté d'intelligibilité, d'un sens qui le relie au niveau classique – il est strictement nécessaire de disposer d'un modèle de microétat et la 'donnée' du microétat considéré, via la spécification de G et l'affirmation de la relation $me_G \leftrightarrow G$.

On sent que l'on est là en présence de faits conceptuels importants et reliés. Les remarques suivantes détaillent brièvement la structure de ces faits.

Les fonctionnements biologiques et psychiques de l'être humain, comme aussi ses intuitions et sa pensée-et-langage, se sont forgées par des interactions directes avec du réel macroscopique, via les appareils biologiques neurosensoriels humains qui engendrent dans l'esprit des *qualia*. Ces derniers sont si profondément et inextricablement incorporés à l'être matériel de chaque humain normal, qu'il est vain de vouloir les "dépasser entièrement" par des entraînements de familiarisation avec des concepts et structures auxquels ont abouti des élaborations mathématiques ou méthodologiques réalisées dans des théories

scientifiques modernes³¹. Les injonctions qui exigent un tel dépassement ‘total’ sont simplement irréalistes. Il subsiste irrépressiblement un cordon ombilical plus ou moins évident qui rattache tout construit conceptuel, au réseau d’intuitions et de conceptualisation issu de nos interactions sensorielles directes avec du réel macroscopique.

Il n’est pas pensable de qualifier du non-percevable via les organes sensoriels biologiques, d’une façon qui ne fasse intervenir strictement aucun élément induit par la conceptualisation naturelle macroscopique, et qui néanmoins soit intelligible.

On peut ressentir quelquefois une surprise totale, un manque total de compréhension, face à certains faits d’observation qui se produisent spontanément, comme lors de la découverte des rayons-X. Mais à ce jour, de manière plus ou moins explicite, toute qualification d’entités physiques inobservables qui a été organisée délibérément à été fondée sur des éléments tirés plus ou moins directement de la conceptualisation classique, qui est modélisante dès qu’elle est délibérée (donc explicite) et qui en conséquence de cela dote toujours d’un certain sens.

Dans l’approche présente toutefois, tout tel élément classique a été déclaré, et le sens qu’il transporte a été réduit au minimum possible : Ce minimum, souvent, se réduit à juste des *mots* qui dénomment des concepts catégoriels utilisés comme des ascenseurs envoyés sous le guidage de ces mots jusqu’au niveau zéro sur la verticale de nos conceptualisations, afin de les y charger de fragments de réel physique encore jamais conceptualisés – eux spécifiquement – et afin de tirer ensuite de ces fragments des données strictement premières placées sur le fond du volume du conceptualisé.

Par son caractère catégoriel, cet investissement classique minimal est vidé de tout contenu sémantique attribuable isolément à l’entité-objet particulière concernant laquelle on veut construire des connaissances. Et il suffira pour permettre dans ce qui suit de poursuivre jusqu’au bout et explicitement cette phase de conceptualisation ‘primordialement transférée’ qui à ce jour avait été occultée dans des coalescences avec des phases ultérieures. Au terme de ce processus constructif il sera devenu possible d’analyser les processus de conceptualisation en trois strates clairement distinctes :

- Une strate de conceptualisation transférée primordiale (de base) accomplie au-dessus d’un vide radical de *qualia*, consistant exclusivement en des groupes de marques perçues sur des enregistreurs d’appareils et codées en termes de leur configuration d’espace-temps, indépendamment de toute ‘signification’ préconstituée, ce qui la coupe radicalement de la conceptualisation classique préexistante³².

- Une strate de conceptualisation transférée primordiale ‘quantique’, accomplie elle aussi au-dessus d’un vide radical de *qualia* et consistant elle aussi exclusivement en groupes de marques perçues sur des enregistreurs d’appareils ; mais des groupes de marques qui – via des processus de mesure conçus sous les contraintes conceptuelles et formelles imposées par tel ou tel concept de grandeur mécanique classique redéfinie pour des microétats – sont dotés par construction de significations en termes de valeurs de cette grandeur là, ce qui les relie à la conceptualisation classique. En conséquence de quoi, su-

³¹ Certaines exhortations positivistes des physiciens de la mécanique quantique semblent exiger précisément – dans le sillage de Bohr – que l’on accomplisse cette impossibilité là.

³² Par la suite, rien n’empêche que l’on prenne tel ou tel élément de cette strate transférée primordiale, comme source de construction d’un sens foncièrement nouveau, dépourvu de tout précédent classique (ceci advient, par exemple, en physique des particules élémentaires).

brepticement mais inévitablement, ces descriptions transférées ‘mécaniques’ sont modélisantes.

- Et enfin, toute une hiérarchie illimitée de chaînes de modélisations successives explicites fondées au départ sur des qualifications transférées primordiales, quantiques ou non (MMS [2002b, 2006]).

Ces distinctions permettent d’économiser une foule d’échecs aveugles, de débats circulaires, de stagnations.

2.3.4. Conclusion globale sur les qualifications transférées primordiales de microétats, et modélisation de celles-ci

En examinant quels principes permettent de concevoir des qualifications associables à des microétats il est apparu que la démarche développée ici, parce qu’elle part d’une base qui est fondamentale au sens extrême de ce mot, englobe les qualifications de microétats produites dans la mécanique quantique actuelle, dans la catégorie plus vaste des qualifications transférées primordiales quelconques. Cela permet de percevoir avec un relief maximal deux faits conceptuels notables :

D’une part, l’on peut percevoir l’abîme qui sépare le concept général de qualification applicable à des microétats, du concept classique de ‘propriété possédée’ par l’entité-à-étudier, qui émerge par un ‘oui’ ou un ‘non’ résultant de la simple comparaison entre un ‘prédicat’ qui préexisterait dans l’air du temps en état pérenne et indépendant, avec d’autre part un ‘objet’ au sens du langage courant qui lui aussi subsisterait dans l’air du temps, pérenne et indépendant et prêt à être qualifié.

Et d’autre part l’on peut percevoir aussi l’intérêt de construire une continuité avec le système classique de penser et de dire, qui est foncièrement modélisant, mais qui – pour nous, natifs de la région de conceptualisation ‘classique’ – introduit du *sens*.

Si la construction explicite des descriptions transférées primordiales qui est entreprise ici réussit à assainir le formalisme de la mécanique quantique, une modélisation plus clairement fondée et unanimement acceptable du concept de microétat pourra être tentée avec des chances notablement accrues.

2.4. Description qualitative de microétats progressifs (non-liés dans une microstructure)

2.4.1. Annonce générale

Nous venons de dépasser les deux difficultés majeures qui surgissent lorsqu’on veut transposer à des microétats le concept classique de “description” : la mise à disposition pour des opérations de qualification, d’un ‘microétat’ dans le rôle d’entité-à-qualifier, et l’accomplissement de toutes les étapes exigées afin de qualifier ce microétat. Désormais nous pouvons aborder la construction de *descriptions de microétats*.

Il vient d’être souligné que l’approche constructive amorcée ici délimite une catégorie générale de qualifications transférées primordiales qui est séparée en deux sous-catégories, une sous-catégorie fondée sur des interactions-test qui naît coupée de la conceptualisation classique, et une sous-catégorie fondée sur des grandeurs ‘mécaniques’ classiques redéfinies pour des microétats, qui relie à la conceptualisation classique.

Afin d'alléger les expressions verbales et de faciliter la comparaison future avec les algorithmes quantiques, qui constitue le but majeur de ce travail, nous parlerons désormais exclusivement en termes de grandeurs mécaniques redéfinies pour des microétats (en bref, grandeurs mécaniques). Mais, notons-le bien :

Les considérations qui suivent ne sont nullement restreintes à des grandeurs mécaniques, ni même à des 'grandeurs' tout court. Elles sont indépendantes de tout modèle de microétat et valides pour tout acte physique de qualification défini opérationnellement pour un microétat, que ce soit une interaction physique de mesure $Mes(X)$ d'une grandeur X quelconque, pas 'mécanique'³³, ou une interaction-test T quelconque.

Bref, nous caractériserons la catégorie générale des descriptions transférées primordiales de microétats. Seul le langage employé se calquera sur le cas spécial du langage utilisé dans la mécanique quantique³⁴.

Et nous ne ferons aucun usage des représentations mathématiques utilisées dans la mécanique quantique. La démarche continuera de rester rigoureusement non mathématique, qualitative. Même lorsque nous écrivons des chiffres liés à des dénombrements, aucun calcul ne sera impliqué.

En outre la démarche restera indépendante de celle poursuivie dans la construction de la mécanique quantique : Cette dernière a obéi à des buts et des contraintes différentes qui seront examinées dans la deuxième partie de ce travail.

2.4.2. *Quelques définitions fondamentales*

Nous allons parler d'interactions de $Mes(X)$ opérées sur un exemplaire d'un microétat me_G engendré par une opération de génération d'état G , et dont l'effet est codé en termes d'une valeur X_j de la grandeur mesurée X . Cela implique-t-il qu'un seul acte de mesure sur un seul exemplaire du microétat étudié me_G , ne peut produire que l'enregistrement d'une seule valeur X_j d'une grandeur dynamique définie pour un microétat ? Voulons-nous admettre cette implication ?

La réponse est non, car 'un micro-état' est une expression qui, d'emblée, ne désigne pas la même chose qu'un 'micro-système'³⁵. Et un micro-état – selon le langage courant tout autant que selon le langage installé en microphysique – peut concerner un ou plusieurs micro-systèmes, selon le substrat physique sur lequel a été appliquée l'opération de génération G : C'est dans ce point précis que se concentre, sinon la nécessité, du moins l'utilité de distinguer entre les deux concepts, de micro-système et de micro-état.

En outre, nous avons signalé que selon le principe de composabilité des opérations de génération de microétats (cf. 2.2.4), plusieurs opérations de génération $G_k, k = 1, 2, \dots, n$, qui peuvent opérer séparément sur deux exemplaires distincts du microétat 'initial' (possiblement entièrement non connu) utilisé comme matière première, peuvent toujours s'appliquer également toutes à la fois sur un seul exemplaire d'un tel microétat-initial-matière-première. Mais comment compte-t-on ces divers 'un' et 'deux' ? Quelles présuppositions

³³ Les qualifications purement formelles-conceptuelles, comme celles de 'projection' ou de 'parité', échappent peut-être au domaine de pertinence des considérations qui suivent.

³⁴ Nous agissons d'ailleurs d'une manière analogue en ce qui concerne le concept de probabilité : Nous utiliserons le mot, mais nous souligneront que la signification que nous lui assignons est différente de celle posée actuellement dans la mécanique quantique (MMS [2009, 2014]).

³⁵ Dans ce paragraphe, pour clarté de lecture, nous écrivons 'micro-système' et 'micro-état', avec tiret à l'intérieur. Ensuite nous reviendrons à l'écriture en bloc, sauf dans les cas où l'on accentue de nouveau la distinction entre "système" et "état".

sont ici à impliquer afin de rester en accord avec l'emploi que l'on fait de ces termes afin d'accompagner verbalement les écritures du formalisme quantique ?

Lorsqu'on considère ces questions on perçoit à quel point la démarche entreprise ici n'est pas de la nature d'une recherche passive de faits 'naturels', ni ne pourrait se déployer en tant que telle. On perçoit à quel point cette démarche est une construction délibérée soumise à des buts et à d'autres contraintes aussi bien factuelles, que conceptuelles ou méthodologiques.

Soit donc ce qu'on appelle 'un micro-état'. Ce micro-état comporte nécessairement quelque micro-système, ou plusieurs, dont il est le (micro)-état (l'entière conceptualisation humaine associe tout 'état', à quelque support plus stable, que l'on peut désigner par le terme 'système').

La décision méthodologique *DM1* pose qu'à une opération de génération G correspond un microétat $me_G : G \leftrightarrow me_G$. Ceci est inébranlable.

Par ailleurs, sous l'empire des questions énoncées et des contraintes qui agissent, nous avons identifié l'organisation suivante de penser-et-dire (quelque peu obscure et mouvante) que nous adoptons désormais explicitement parce qu'elle nous paraît permettre, à la fois, continuité face aux façons de dire courantes et cohérence globale relativement aux implications de l'entière microphysique.

Définition [(un micro-système) et (un micro-état de un micro-système)]

Soit un micro-état tel qu'une seule opération de mesure accomplie sur un seul exemplaire de ce micro-état ne peut produire qu'un seul groupe $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques observables. On dira que ce micro-état met en jeu ce qu'on appellera *un micro-système* et que par conséquent c'est *un micro-état de un micro-système*.

Définition [un micro état de n microsystèmes]

Soient maintenant $n > 1$ micro-systèmes, c'est à dire deux ou plusieurs micro-systèmes d'un type dont on sait que, pour chacun séparément, on peut engendrer un micro-état au sens de la définition précédente. Mais soit G_n une seule opération de génération qui, agissant sur quelque support physique initial utilisé comme matière première, a engendré à la fois n micro-états de tels n micro-systèmes³⁶ ; ou bien, qui a même engendré à la fois tous ces n micro-systèmes eux-mêmes, avec leurs micro-états respectifs³⁷. Dans les deux cas on dira que *le micro-état correspondant est un micro-état de n micro-systèmes, et nous le dénoterons par me_{G_n}* .

L'unicité de l'opération de génération G_n peut être conçue a priori comme source possible de spécificités du comportement global d'un microétat de n microsystèmes *face* au cas de " n microétats de n microsystèmes" générés chacun séparément, i.e. au sens de la définition précédente.

Cette circonstance sera approfondie plus tard.

Définition [mesure complète sur un micro-état de n micro-systèmes]

Une opération de mesure complète accomplie sur un seul exemplaire d'un micro-état me_{G_n} de n micro-systèmes, produit n groupes distincts de marques observables, un groupe

³⁶ C'est le cas, par exemple, lorsque G_n consiste en une "interaction" entre deux électrons préexistants, ou un électron et un proton préexistants, etc.

³⁷ Il s'agit alors d'une 'création' au sens de la physique des particules.

pour chaque micro-système impliqué, les grandeurs et les valeurs auxquelles ces marques sont liées pouvant être identiques ou différentes.

Définition [mesure incomplète sur un micro-état de n micro-systèmes]

Une opération de mesure accomplie sur un seul exemplaire du micro-état me_{G_n} et qui produit moins de n marques observables – c’est-à-dire qui ne tire pas de me_{G_n} une qualification pour chaque micro-système impliqué et par conséquent ne qualifie pas cet exemplaire de ce micro-état, par cette mesure, aussi exhaustivement qu’on peut le concevoir conformément à la définition précédente – est *une mesure incomplète* sur me_{G_n} .

Remarque

D’autre part, en conséquence des définitions explicitées plus haut, un acte de mesure $Mes(X)$ opéré sur un seul exemplaire d’un micro-état me_G de n micro-systèmes ne peut – par construction des concepts – produire que tout au plus n valeurs observables X_j .

Définition [un micro-état à génération composée]

Soit un micro-état de un micro-système ou de $n > 1$ micro-systèmes, indifféremment. Si ce micro-état a été engendré par une opération de génération $G(G_1, G_2, \dots, G_k)$ qui – sur un autre micro-état de départ utilisé comme matière première afin de générer le micro-état considéré – a composé les effets de deux ou plusieurs opérations de génération G_1, G_2, \dots, G_k (où k est un entier) dont on sait que chacune aurait pu agir séparément, alors on dira que le micro-état considéré est *un micro-état à génération composée*³⁸.

2.5. Construction d’une ‘description’ de microétat

Dans ce qui suit immédiatement nous supposerons qu’il s’agit d’un micro-état d’un seul micro-système. Le cas d’un micro-état de $n > 1$ micro-systèmes sera évoqué de nouveau plus tard. En outre :

Tout au cours de ce qui suit l’on admet par hypothèse que, un microétat $me_G \leftrightarrow G$ étant spécifié via la donnée factuelle de l’opération de génération G , l’on a su comment définir les opérations de $Mes(X)$ correspondantes où X est une grandeur mécanique dont la redéfinition pour des microétats – que l’on ne spécifie pas – assure la possibilité d’un codage $Cod(G, X)$ au sens défini dans 2.3.2.3.

Nous avons déjà souligné que le contenu de cette hypothèse est loin d’être trivial. Elle sera examinée dans la deuxième partie de ce travail pour le cas des redéfinitions des grandeurs mécaniques X qui sont utilisée dans la mécanique quantique et du traitement quantique des opérations de $Mes(X)$. Mais pour l’instant, dans la suite de ce chapitre 2 son rôle est de permettre de s’exprimer dans des termes qui, en conséquence de leur faible spécification, conviennent a priori, à la fois, à *IMQ* et à la mécanique quantique.

³⁸ Cette dernière définition – déjà introduite avant pour le cas d’un micro-état d’un seul micro-système – place maintenant tout micro-état non-lié et opération de à génération composée (i.e. lié au principe de composabilité des opérations de génération), dans le contexte de l’ensemble des définitions de ce paragraphe.

2.5.1. *Le caractère primordialement statistique des qualifications ‘mécaniques’ d’un microétat*

Revenons sur un caractère des qualifications de microétats qui s’est déjà fait jour dans 2.3.2.2 et qui, ici, est repris à la base de la caractérisation des descriptions de microétats :

Considérons l’exemplaire du microétat me_G qui a été produit par une seule réalisation d’une opération de génération G . Supposons qu’il est soumis à une opération de mesure ‘adéquate’ – au sens défini dans 2.3.2.3 – d’une grandeur mécanique particulière, bien précisée. Notons B cette grandeur (afin de la distinguer clairement, aussi bien d’une grandeur définie mais quelconque qui est dénotée X , que d’un appareil de mesure qui est dénoté $A(X)$). Nous considérons donc un acte de $Mes(B)$. Pour éviter des restrictions arbitraires a priori il faut admettre que, en général tout au moins, l’acte de $Mes(B)$ doit changer le microétat me_G de départ, et de telle manière que l’on obtienne un groupe $\{\mu_k, k = 1, 2, \dots, m\}$ de m marques physiques observables relevées sur les enregistreurs de l’appareil $A(B)$. Via le codage $Cod(G, B)$ correspondant (2.3.2.3), ces marques interviendront dans l’identification de l’une parmi les différentes valeurs possibles du spectre de B , disons B_4 ³⁹. Au bout de cette séquence $[G.Mes(B)]$ de réalisation d’une opération de génération G suivie d’un acte de $Mes(B)$:

* Les manifestations observées – sur l’appareil – qui signifient la valeur B_4 de la grandeur B , incorporent une inamovible relativité au processus $Mes(B)$ qui a permis d’obtenir ces manifestations.

* L’exemplaire individuel d’un microétat me_G qui a été soumis à l’acte de $Mes(B)$ en général n’existe plus tel qu’il avait été engendré par l’opération de génération G . En général ce microétat de départ a été d’abord changé par l’évolution de $Mes(B)$, et en outre, souvent, sa transformée finale reste capturée dans l’un ou l’autre des objets macroscopiques qui constituent les enregistreurs de l’appareil $A(B)$.

Cette dernière circonstance oblige, si l’on veut vérifier le résultat B_4 , d’engendrer d’autres exemplaires du microétat me_G et d’autres successions $[G.Mes(B)]$ d’une opérations G et un acte de $Mes(B)$. Or les sciences physiques accordent une importance majeure à la condition de vérifiabilité des résultats annoncés : c’est cette condition qui garantit la possibilité d’un consensus intersubjectif, sans quoi il n’y aurait pas ce qu’on appelle objectivité. Bref : afin de faire face à la condition centrale de vérifiabilité, il faudra faire usage de tout un ensemble de réalisations d’une succession $[G.Mes(B)]$ et de l’entier ensemble correspondant d’exemplaires du microétat me_G .

Imaginons alors que l’on ait effectivement répété un grand nombre de fois la succession $[G.Mes(B)]$. Si à chaque fois l’on retrouvait le résultat B_4 que l’on avait trouvé la première fois, on se dirait : « j’ai trouvé une petite loi : si un microétat me_G engendré par l’opération de génération G est soumis à un acte de $Mes(B)$, l’on obtient le résultat B_4 ».

On pourrait se demander ensuite si toute mesure de toute autre grandeur C, D, \dots , effectuée de manière répétée sur des exemplaires du microétat me_G , produit stablement une et même valeur de la grandeur mesurée, disons C_{17} pour C, D_{154} pour D, \dots . Et s’il s’avérait qu’effectivement c’est le cas, on se dirait : « j’ai trouvé une nouvelle loi plus importante que la précédente : un microétat me_G introduit un groupe bien déterminé de valeurs observables des grandeurs B, C, D, \dots considérées, une valeur et une seule pour

³⁹ Toute ‘valeur’ d’une grandeur mécanique est finalement exprimée par un nombre réel.

chacune de ces grandeurs mécaniques redéfinie pour des microétats ».

Mais il se trouve qu'en fait les choses se passent autrement. Lorsqu'on répète une succession $[G.Mes(B)]$ qui comporte un acte de $Mes(B)$ accompli sur un microétat me_G engendré par une opération de génération G , en général on n'obtient pas à chaque fois une même valeur de la grandeur B . En général – nonobstant le fait qu'à chaque fois il s'agit de la 'même' opération G et du 'même' acte de $Mes(B)$, on obtient une fois telle valeur de B et une autre fois telle autre valeur. Et lorsque le nombre d'essais s'accroît, l'ensemble des valeurs obtenues ainsi tend à couvrir progressivement tout le spectre $\{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots\}$ de B . Et même s'il arrive que, pour le microétat me_G , ce soit à chaque fois la même valeur de B qui apparaît, disons B_4 – et l'expérience montre la possibilité d'un tel cas –, alors on trouve toujours d'autres grandeurs différentes de B pour lesquelles, face à me_G , les résultats sont dispersés : aucun microétat ne s'associe avec un ensemble de résultats de mesure qui soit dépourvu de dispersion pour toutes les grilles de qualification mécanique définies pour des microétats : si un microétat me_G donné est tel qu'il conduit à un ensemble de résultats de mesure dépourvu de dispersion pour une parmi ces grilles – ce qui n'est pas le cas général – alors il existe toujours d'autres grilles de qualification pour lesquelles me_G conduit à un ensemble dispersé de résultats de mesure.

Il n'y a jamais stabilité de la valeur produite par la répétition d'un acte de mesure donné opéré sur un microétat, pour *toutes* les grilles de qualification définissables pour un microétat.

Ceci est un fait d'expérience, une donnée factuelle. Ainsi *les faits nous éjectent sur un niveau statistique*.

Dans ces conditions il est clair d'emblée qu'une valeur donnée du spectre de la grandeur B , disons B_4 , peut apparaître, par un acte de $Mes(B)$, pour une infinité de microétats différents produits par des opérations de génération différentes. Une valeur d'une grandeur X n'est donc jamais spécifique à un microétat donné.

Or le caractère statistique auquel on se trouve confronté ici est primordial, en ce sens qu'on ne peut pas l'assigner à quelque ignorance. Car – par construction – la structure de connaissances concernant des microétats dont on surveille la genèse ici, émerge foncièrement première. Elle émerge d'un inconnu qui est posé être total. Notamment, elle émerge en dehors du postulat déterministe de la possibilité de principe, toujours, d'une formulation fondamentale des lois mécaniques, et en général des lois tout court, en termes individuels (non statistiques et a fortiori non probabilistes).

2.5.2. *Exigence de quelque stabilité des manifestations observées (consensus)*

Ce n'est donc que sur un niveau statistique qu'on peut encore rechercher un invariant observationnel lié à un microétat donné. Or sans invariants il n'y a pas de lois, pas de science prévisionnelle. Comment procéder ?

De ce qui vient d'être dit il découle que pour chaque paire (G, X) il faudra, pour tout X , accomplir un grand nombre N de fois la succession d'opérations $[G.Mes(X)]$ correspondante, enregistrer à chaque fois la valeur codante X_j du spectre $\{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots\}$ de X qui a été obtenue et rechercher un invariant impliquant l'ensemble des N valeurs obtenues. Ce sera alors forcément un invariant non individuel ; et si *c'est* en effet un invariant de la statistique constatée ce sera un invariant 'probabiliste'⁴⁰, car on ne connaît pas une autre

⁴⁰ En fait un tel invariant *ne peut pas exister en conditions naturelles*, c'est un *artefact opérationnel-conceptuel* construit délibérément sous la contrainte du but de pouvoir prévoir avec le degré de certitude maximal concevable au niveau statistique de conceptualisation (MMS [2009, 2014]). La proportion étant gardée avec les ordres de grandeur des durées

sorte d'invariant sur le niveau de conceptualisation statistique.

Soit donc un grand nombre N de répétitions de la succession $[G.Mes(X)]$. Soit $\{n(G, X_1)/N, n(G, X_2)/N, \dots, n(G, X_j)/N, \dots, n(G, X_k)/N\}$ l'ensemble des fréquences relatives enregistrées (où $n(G, X_j)$ désigne le nombre des réalisations de la valeur $X(j)$ pour le microétat me_G , N est le nombre total d'essais faits, et $n(G, X_j)/N$ est la fréquence relative du résultat X_j parmi les résultats des N essais $[G.Mes(X)]$ accomplis). Cet ensemble de fréquences relatives est 'la distribution statistique' des X_j .

On dira que la situation s'avère être 'probabiliste'⁴¹ si et seulement si, lorsqu'on mesure la distribution statistique $\{n(G, X_1)/N, n(G, X_2)/N, \dots, n(G, X_j)/N, \dots, n(G, X_k)/N\}$ pour des nombres d'essais N qui s'accroissent autant qu'on veut, l'on constate que ces distributions semblent manifester une tendance de converger. Si donc une telle tendance se manifeste, alors la distribution – statistique – constatée sera dénommée dans ce qui suit une distribution de probabilité et on dira qu'elle constitue la loi factuelle de probabilité

$$\{p(G, X_j)\} = \{p(G, X_1), p(G, X_2), \dots, p(G, X_j), \dots, p(G, X_k)\}$$

où $p(G, X_j) = \lim_{N \rightarrow \infty} [n(G, X_j)/N]$ dénote par définition la limite de convergence de la fréquence relative $n(G, X_j)/N$, supposée exister.

2.5.3. Exigences de spécificité face à me_G d'une loi de 'probabilité' $p(G, X_j)$, versus grandeurs mutuellement incompatibles

2.5.3.1. Questions concernant la spécificité des observations

Lorsqu'on dit qu'on recherche la description du microétat me_G il est sous-entendu que l'on cherche un ensemble de qualifications de me_G qui soit spécifique à me_G , c'est-à-dire tel qu'aucun autre microétat généré par une opération de génération différente de celle, G , qui produit me_G , ne puisse faire apparaître exactement le même ensemble de qualifications. Ce qu'on cherche en fait ainsi est une redéfinition de me_G qui soit à la fois qualifiante et vérifiable par l'expérience et qui puisse *in fine* remplacer par quelque sorte de description sa 'définition a-conceptuelle' de départ via l'étiquetage par l'opération G correspondante, qui ne nous donne rien à connaître concernant spécifiquement le microétat me_G .

Or comment savoir si la loi de probabilité $\{p(G, X_j)\}$ obtenue est spécifique du microétat étudié me_G ?

Si elle l'était, alors d'ores et déjà, à elle seule, elle pourrait peut-être être regardée comme une 'description' du microétat me_G , nonobstant le fait qu'elle ne concerne pas me_G isolément, mais seulement les interactions de me_G avec l'appareil $A(X)$ utilisé pour accomplir les $Mes(X)$. Mais si, même avec cette réserve de taille, cette distribution de probabilité n'est pas spécifique au microétat me_G , alors il est clair d'emblée qu'en aucun cas il ne s'agit là d'une 'description' de me_G : l'appeler ainsi trahirait radicalement la définition du concept. Or aucun fait ni aucun argument n'entraîne avec nécessité qu'une distribution de

et des distances impliquées, ceci vaut même concernant des phénomènes cosmiques.

⁴¹ Ici – provisoirement – j'introduis des définitions nécessaires pour pouvoir employer les manières courantes de parler. Mais en fait les concepts de 'convergence probabiliste' et de 'loi factuelle de probabilité' soulèvent des problèmes conceptuels très sérieux. Ceux-ci ont déjà été exposés et traités dans MMS [2006], mais de façon insuffisante. Dans MMS [2009] on trouve une version plus avancée du traitement, et dans MMS [2014] le problème se trouvera enfin résolu d'une manière qui semble être stabilisée. L'on y conclut qu'une 'loi de probabilité' est un artefact conceptuel déterminé par des buts prévisionnels, et qui n'est constructible – en certaines conditions – que sur des domaines délimités d'espace-temps. Or les conditions mentionnées ne sont pas réalisables pour des descriptions primordiales transférées : car ces conditions exigent une modélisation, et une modélisation soumise à certaines contraintes.

probabilité $p(X_j)$ établie pour une paire (G, X) donnée (i.e. pour un microétat me_G et avec une grandeur X donnés), ne peut se réaliser également pour une paire (G', X) où $G' \neq G$, c'est à dire avec le même X mais pour un autre microétat $me_{G'} \neq me_G$. Il faut donc chercher un autre critère de spécificité observationnelle de me_G .

Cela conduit à la nouvelle question suivante. Que se passe-t-il si l'on considère deux grandeurs dynamiques X et Y différentes, au lieu d'une seule ? Ne pourrait-on pas, à l'aide d'une paire de deux lois de probabilités $\{p(G, X_j)\}$ et $\{p(G, Y_q)\}$ définir avec certitude une spécificité observationnelle face à me_G ? Ou bien, puisque peu de choses peuvent être certaines lorsque d'emblée il s'agit de probabilités, du moins agrandir la chance *a priori* d'avoir identifié une spécificité observable de me_G ?

2.5.3.2. *Compatibilité mutuelle individuelle de deux aspects de qualification d'un microétat d'un seul micro-système, versus spécificité des observations*

Quand il s'agit de microétats, deux grandeurs X et Y ne sont vraiment 'différentes' que lorsqu'elles s'excluent mutuellement en ce sens précis qu'un acte de mesure de $Mes(X)$ est conçu comme changeant le microétat étudié autrement qu'un acte de mesure de $Mes(Y)$. En d'autres termes :

Lorsqu'il n'est pas possible de trouver une représentation conceptuelle-formelle des microétats et un appareil correspondant, qui permettent de définir et d'identifier expérimentalement – à la fois, par une et même évolution de mesure $Mes(X, Y)$ – une valeur X_j de la grandeur X et une valeur Y_k de la grandeur Y , pour un seul exemplaire du microétat me_G étudié, alors nous dirons que ' X et Y sont mutuellement incompatibles, face à :

- un exemplaire individuel du microétat me_G
- à la représentation conceptuelle-formelle des microétats employée, avec les appareils qui lui correspondent, i.e. face aux processus de mesure envisagés'.

Notons attentivement les deux relativités qui marquent et *restreignent* le concept d'incompatibilité que l'on vient de définir, et relierons-le à la remarque qui clôt 2.3.2.3.

Donc deux grandeurs qui sont incompatibles au sens spécifié, ne peuvent donc pas – à l'intérieur du domaine conceptuel délimité par les relativités qui marquent le concept d'incompatibilité défini – qualifier par un seul acte de mesure, un et *même* exemplaire du microétat à étudier, si en outre celui-ci est un microétat d'un seul micro-système, comme il est supposé ici⁴² ⁴³.

Si deux grandeurs mécaniques X et Y ne sont *pas* incompatibles au sens spécifié, alors, par opposition aux conditions impliquées par la définition d'incompatibilité mutuelle, le mode de changement d'un seul exemplaire du microétat étudié me_G , qui se réalise lors

⁴² C'est l'essence de ce qui, dans la mécanique quantique actuelle, est lié au principe de complémentarité. Mais souvent – sinon toujours – la condition d'unicité de l'exemplaire du microétat de *un* micro-système que l'on considère, est oubliée lorsqu'on parle de complémentarité en mécanique quantique. Cela conduit à beaucoup de confusions. Car c'est précisément cette condition d'unicité de l'exemplaire mis en jeu lors d'un seul acte de mesure, qui est essentielle (et qui en outre est douée d'universalité (MMS [2002a, 2002b, 2006])).

⁴³ Il apparaîtra plus loin que cette définition de l'incompatibilité 'individuelle' de deux grandeurs définies pour un microétat, posée ici pour le cas d'un micro-état de un micro-système, cesse d'être valide dans le cas d'un micro-état de deux ou plusieurs micro-systèmes : Ce qui décide finalement de la 'compatibilité', est la possibilité, ou non, de mesurer les grandeurs considérées simultanément sur un seul exemplaire du micro-état considéré, selon la représentation des microétats que l'on utilise. Cette possibilité est bien loin d'avoir un caractère définitif et absolu.

d'une interaction de $Mes(X)$, peut (avec un choix convenable d'appareil et de procédure) être le même que celui qui se réaliserait pour ce même exemplaire lors d'une interaction de $Mes(Y)$: c'est la définition de la compatibilité mutuelle de deux grandeurs qualifiantes définies pour des microétats. Donc en cas de compatibilité, rien n'empêche de procéder de la façon suivante : Un seul exemplaire du microétat à étudier est soumis au type unique de changement qui convient – à la fois – comme processus de changement par un acte de $Mes(X)$ et comme processus de changement par *un acte de $Mes(Y)$* . On peut donc introduire une nouvelle dénomination-notation : un acte de $Mes(XY)$. Cette unique interaction de $Mes(XY)$ ne peut évidemment produire qu'un unique ensemble de marques physiques observables sur les enregistreurs de l'appareil A(XY). Mais l'unicité de cet ensemble de marques physiques observées permet néanmoins de qualifier le microétat étudié, à la fois, par une valeur correspondante X_j de X et par une autre valeur correspondante Y_q de Y . En effet, ces deux valeurs peuvent, elles, être distinguées l'une de l'autre, si la définition *conceptuelle* de la grandeur X – superposée à la définition opérationnelle par ' $Mes(XY)$ ', introduit, disons, un super-codage en termes d'une valeur X_j de X qui est différent du super-codage introduit par la définition conceptuelle de la grandeur Y , mais ce dernier étant est un super-codage relié au précédent, identifiable ou même calculable à partir de celui-ci. Ceci revient à dire que, dans ces conditions, on peut considérer que les noms ' X ' et ' Y ' ne désignent en fait pas deux dimensions de qualification qui sont distinctes physiquement. Qu'ils ne désignent que deux utilisations conceptuelles-formelles différentes mais corrélées, d'une seule dimension physique de qualification. Disons, en employant une image, que d'un point de vue physique opérationnel les deux grandeurs compatibles qui interviennent dans $Mes(XY)$ peuvent être regardées comme deux 'directions de qualification colinéaires' que l'on peut superposer dans une seule dimension de qualification⁴⁴.

2.5.4. La 'description' versus sa genèse produite par le concepteur-observateur

Il ne semble donc pas impensable que l'on obtienne la même loi de probabilité $\{p(G, X_j)\}$ pour deux microétats distincts (produits par deux opérations de génération différentes). Bien que cela ne semble pas pouvoir être fréquent, on aurait des réticences à en affirmer l'impossibilité. Si alors, afin d'agrandir le degré de vraisemblance d'avoir établi une spécificité de me_G , on considère deux grandeurs qualifiantes au lieu d'une seule, il résulte des considérations du paragraphe précédent que l'effet de spécification recherché ne se produira pas si les deux grandeurs choisies sont mutuellement compatibles, car dans ce cas elles n'introduisent qu'une seule dimension *physique* de qualification.

⁴⁴ Par exemple, plaçons-nous à l'intérieur de la représentation des microétats offerte par la formulation Hilbert-Dirac de la mécanique quantique, et imaginons que X est la re-définition conceptuelle pour le cas d'un microétat, de la grandeur classique 'quantité de mouvement' selon une seule dimension d'espace (dont en mécanique classique la valeur s'écrit alors $p = mv$ où m est la masse du mobile et v dénote sa vitesse selon la dimension d'espace considérée), cependant que Y est la redéfinition conceptuelle de la grandeur classique 'énergie cinétique' selon une seule dimension d'espace (dont en mécanique classique la valeur s'écrit $T = (p^2/2m) = (mv^2/2)$). En transposant ces définitions conceptuelles classiques, dans les termes du formalisme quantique (sur la base d'une construction abstraite qui prolonge les concepts dénotés ' p ' et ' T ' dans la mécanique classiques), *leur relation de dépendance conceptuelle et formelle se maintient et elle conserve sa forme*. En ces conditions il suffit qu'un acte de $Mes(PT)$ produise, à partir d'un seul exemplaire du microétat étudié, un unique ensemble de manifestations physiques observables commun à P et à T , puisque le super-codage purement conceptuel comporté par la redéfinition de P permet d'associer à cet ensemble de marques un sens en termes d'une valeur p_j de la quantité de mouvement P , cependant que le super-codage purement conceptuel comporté par T consiste à simplement calculer ensuite aussi un autre sens, énergétique, $T_j = p_j^2/2m$. Bref, on peut procéder selon la méthode 'time of flight' pour obtenir un seul ensemble de marques physiques observables, et ensuite, faire les *deux* calculs mentionnés : En général maintenant, dire que deux grandeurs X et Y sont 'compatibles' ne veut dire *que* ceci, précisément, que X et Y ne diffèrent l'une de l'autre que conceptuellement, par la manière d'associer à un ensemble donné *unique* de marques physiques observées, les deux valeurs X_j et Y_q différentes qui correspondent à cet ensemble unique selon deux codages différents mais reliés que l'on peut transformer l'un dans l'autre. Cet exemple est à relier lui aussi à la remarque finale de 2.3.2.3

Par contre, sur la base de ces mêmes considérations il paraît suffisamment sûr d'admettre que deux groupes non compatibles de grandeurs mutuellement compatibles, agissent comme deux 'directions de qualification' distinctes qui, en s' 'intersectant', fournissent une spécificité du microétat étudié me_G ; c'est à dire, qu'aucun autre microétat engendré à l'aide d'une autre opération de génération différente de l'opération G , ne conduit exactement au même couple de deux lois de probabilité liées à ces deux grandeurs non compatibles, que le couple de lois trouvées avec G et me_G .

D'autant plus, alors, l'ensemble de toutes les lois de probabilité obtenues avec une opération G fixée et tous les groupes non compatibles de grandeurs compatibles qui sont redéfinies pour les microétats, peut être tranquillement considéré comme spécifique à me_G . En ce sens, et en ce sens seulement, il semble possible d'affirmer que :

L'ensemble des lois de probabilité évoqué – bien qu'il ne concerne pas le microétat me_G isolé des interactions de mesures qui l'ont engendré – constitue néanmoins une "description" de ce microétat lui-même, en ce sens et ce sens seulement que cet ensemble de lois de probabilité constitue une redéfinition de ce microétat en termes – non pas de l'opération de génération G qui l'a produit – mais en termes de *connaissances* qui concernent ce microétat lui-même et spécifiquement et qui sont communicables, vérifiables et consensuelles.

La 'description' – dans le sens précisé – que nous venons d'obtenir est foncièrement relative à :

- * l'opération de génération G qui agit uniformément dans toutes les successions répétées $[G.Mes(X)]$, pour toute grandeur X définie pour le microétat étudié ;
- * l'effet me_G de l'opération G ;
- * la grille de qualification constituée par l'ensemble des grandeurs (mécaniques ou d'autre nature) définies pour un microétat.

L'action descriptionnelle qui a conduit à cette description a été accomplie par le concepteur-observateur humain conformément à certaines contraintes psycho-physiques inéluctables qu'il a donc fallu laisser opérer. Mais elle a été soumise aussi à des contraintes méthodologiques choisies délibérément (2.2). Et en conséquence de celles-ci s'est produite la scission *MS-B* (2.2.6). Ainsi, une fois que le processus descriptionnel est accompli, l'effet final de ce processus – globalisé sur le niveau de conceptualisation statistique, pour toutes les grandeurs mécaniques redéfinies pour des microétats – consiste en, **exclusivement**, des marques physiques transférées via de interactions de mesure sur des enregistreurs – épars – d'appareils divers, des marques codées en termes de 'valeurs' X_j de 'grandeurs' X et dont on a dénombré les fréquences relatives de réalisation : il s'agit de '*descriptions transférées primordiales 'probabilistes'*' au sens de statistiques stables face à l'entier N choisi pour le nombre de répétitions des successions $[G.Mes(X)]$ qui interviennent.

Or là, dans le produit final – transféré et primordial – que les actions cognitives du concepteur-observateur ont déposé, toute organisation sous-jacente globale d'espace-temps est absente parce qu'elle est déjà absente dans les éléments de ce produit final, et ceci viole brutalement les fonctionnements du psychisme humain⁴⁵.

⁴⁵ En conséquence des non-compatibilités mutuelles (2.5.3.2) entre certaines grandeurs mécaniques distinctes, les configurations d'espace-temps des groupes de marques $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ produits par les différents actes de mesure impliqués, ne sont en général pas intégrables dans une définition d'une structure d'espace-temps définie du résultat global d'une description d'un microétat, face à toutes les grandeurs mécaniques redéfinies pour lui. Cependant que les descrip-

Afin de mettre en évidence ce fait épistémologique fondamental nous introduisons les dénominations et les notations suivantes :

La grandeur X correspond à une vue V_X où le symbole V_X dénote globalement la grille de qualification $gq.primord.(X).me_G$ définie dans 2.3.2.3. Dénommons cette symbolisation vue-aspect mécanique correspondante à la grandeur mécanique X redéfinie pour des microétats. Soit $\{V_X\}$ l'ensemble des 'vues-aspect' V_X . Cet ensemble sera dénotée V_M et sera dénommé la vue mécanique globale définie pour des microétats.

L'action descriptionnelle globale face à V_M ou à V_X – avec sa genèse et son résultat final – sera symbolisée, respectivement

$$D_M^o/G, me_G, V_M/ \text{ ou } D_X^o/G, me_G, V_X/$$

(l'indice supérieur "o" se lit : primordialement transférée ; la première symbolisation se lit globalement : description primordialement transférée de l'état mécanique du microétat me_G engendré par l'opération de génération G et qualifié via la vue mécanique totale V_M ; la deuxième symbolisation se lit : description primordialement transférée de l'état mécanique du microétat me_G engendré par l'opération de génération G et qualifié via la vue mécanique partielle V_X)⁴⁶. Les désignés de ces symboles sont dotés d'une organisation définie d'espace-temps des actions descriptionnelles du concepteur-observateur humain.

L'ensemble $\{p(G, X_j)\}, \forall V_X \in V_M$, de – exclusivement – toutes les distributions de probabilité obtenues pour le microétat me_G qualifié par V_M sera dénommé *la description mécanique explicite proprement dite de me_G* et sera dénotée par

$$D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M.$$

Si en particulier l'on a $V_M \equiv V_X$ l'on dénotera la description mécanique correspondante proprement dite par

$$D_X^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$$

et l'on dira qu'elle n'est reliée à l'entité-objet me_G que face à l'unique vue-aspect mécanique X .

Les descriptions proprement dites $D_M^o(me_G)$ et $D_X^o(me_G)$ sont dépourvues de toute structuration d'espace-temps intrinsèque ou sous-jacente.

Voilà enfin la définition qualitative générale des descriptions de microétats impliquées dans le formalisme quantique. Cette description est maintenant là, devant nos yeux, dénudée de toute adhérence à des éléments mathématiques, intégrée, à fonctionnalités bien définies tout autant en ce qui concerne le contenu de chacune de ces fonctions, qu'en ce qui concerne leur succession et leur résultats : Une forme descriptionnelle organisée clairement et comme vivante.

L'hypothèse faite au départ, selon laquelle le contenu épistémologique qualitatif du formalisme quantique est déterminé par la situation cognitive dans laquelle on se

tions statistiques ou probabilistes classiques sont fondées sur des "objets" logés dans l'espace et le temps.

⁴⁶ Henri Boulouet a introduit un concept généralisant, de "description transférée relativement à une vue donnée", qui s'applique à tout niveau de conceptualisation – notamment aussi au niveau classique – et qui joue un rôle important (Boulouet [2013])

trouve lorsqu'on veut décrire des microétats, semble se confirmer. Mais il reste à parfaire cette confirmation. Car nous venons de parler de “description probabiliste” $D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$, et – en un certain sens – il n’y a pas de doute qu’il semble adéquat en effet de qualifier cette description comme ‘probabiliste’. Mais en ce cas le terme ‘probabiliste’ possède un sens nouveau et il faut expliciter à fond en quoi cette nouveauté consiste. Je le ferai ci-dessous, sur la base d’une explicitation de la structure d’espace-temps de l’action descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$ ou $D_X^o/G, me_G, V_X/$ déployée, respectivement, afin d’accomplir une description proprement dite $D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ ou $D_X^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$.

2.6. L’arbre de probabilité de l’opération de génération G d’un microétat

2.6.1. Le cas fondamental d’un microétat de un microsystème et à opération de génération simple

Dans ce qui précède, la genèse de la description $D_M^o/G, me_G, V_M/$ d’un microétat – opérée par le concepteur-observateur humain – a été indiquée d’une manière très morcelée et étalée, argumentée pas à pas. L’on ressent le besoin d’une reformulation plus rapide et synthétique qui permette de percevoir en un seul coup d’œil la structure globale de cette genèse. Sur le terrain conceptuel affermi dans les paragraphes précédents, nous élaborerons maintenant – d’abord pour le cas fondamental de un microsystème, et à opération de génération simple (non-composée) – une représentation d’espace-temps synthétisé, ‘géométrisé’, de l’action descriptionnelle comportée par $D_M^o/G, me_G, V_M/$. Cette représentation permettra de jauger mieux les spécificités et les remarquables perspectives nouvelles ouvertes par le type descriptionnel dénoté $D_M^o/G, me_G, V_M/$. Car il apparaîtra que l’organisation qualitative du concept de ‘probabilités’ primordiales (de statistiques primordiales relatives stables) qui s’est constitué, se distingue foncièrement du concept qu’avait dans son esprit Kolmogorov [1933] lorsqu’il a formulé sa théorie classique des probabilités⁴⁷
48.

2.6.1.1. Construction et résultat global

Ce qui suit immédiatement concerne donc le cas fondamental d’un micro-état d’un seul micro-système (2.4.2) et à opération de génération simple. Les autres cas seront considérés ensuite via des généralisations de ce premier cas.

Soit une opération de génération G qui engendre un microétat me_G . Dénotons ici B, C, D , etc. les grandeurs mécaniques redéfinies pour des microétats qui engendrent la description $D_M^o/G, me_G, V_M/$ de me_G via des mesures $Mes(B), Mes(C), Mes(D)$, etc. Tout ce qui est essentiel concernant $D_M^o/G, me_G, V_M/$ – avec son entière genèse – peut être représenté d’une manière intuitive visuelle, à l’aide d’un schéma d’espace-temps qui globalise la réalisation et les résultats d’un grand nombre de répétitions de la succession d’opérations $[G.Mes(B)]$, ainsi que de la succession d’opérations $[G.Mes(C)]$, ainsi que de la succession d’opérations $[G.Mes(D)]$, etc. Il ne s’agit pas d’un modèle. Il s’agit juste d’une représenta-

⁴⁷ Faute des guidages complexes qu’offre la méthode générale de conceptualisation relativisée, l’exposé qui suit est très simplifié. Dans MMS [2002b, pp. 256–291] et MMS [2006, pp.193-257] on peut trouver des exposés beaucoup plus accomplis.

⁴⁸ Comme annoncé dans la note 2, nous accompagnerons les résultats qui émergeront, de brèves indications anticipées concernant leurs correspondants dans le formalisme mathématique de la mécanique quantique. Mais ces commentaires, resteront strictement *extérieurs* à la construction élaborée dans la première partie de ce travail ; de simples pointage du doigt qui préparent à une compréhension rapide des comparaisons constructives de la deuxième partie de ce travail.

tion accomplie dans l'espace-temps de l'observateur-concepteur humain.

Détaillons, mais en simplifiant au cas essentiel de seulement deux grandeurs dynamiques mutuellement incompatibles, B et C .

Considérons d'abord le processus de génération G du microétat me_G . Ce processus commence à un moment initial, disons t_0 , et il finit à un moment ultérieur, disons t_G . Il possède donc une durée $(t_G - t_0)$. Il balaye aussi un certain domaine d'espace, disons d_G . Donc il couvre un domaine global d'espace-temps $[d_G.(t_G - t_0)]$. Au moment t_G quand le processus de génération G est accompli – donc le microétat me_G peut déjà être supposé exister – on commence aussitôt un acte de $Mes(B)$. Ainsi l'on accomplit une succession $[G.Mes(B)]$. Cette succession finit avec l'enregistrement par l'appareil $A(B)$, d'un certain groupe de marques physiques observables. Au moment où l'enregistrement de ce groupe de marques est accompli, l'opération physique de $Mes(B)$ est terminée et l'entière succession $[G.Mes(B)]$ est elle aussi accomplie. Notons t_B ce moment final. Le processus physique $Mes(B)$ aura donc couvert dans le temps du concepteur-observateur une durée $(t_B - t_G)$. Il aura également balayé un certain domaine d'espace, disons d_B . Il se sera donc produit sur un domaine d'espace-temps $[d_B.(t_B - t_G)]$. Et l'entière succession $[G.Mes(B)]$, elle aura couvert le domaine d'espace-temps $[d_G.(t_G - t_0) + d_B.(t_B - t_G)]$.

Après avoir accompli le processus physique $Mes(B)$, on accomplit en outre une opération supplémentaire, *conceptuelle* cette fois : le groupe de marques physiques observables enregistré par l'appareil $A(B)$ doit être *codé* conformément à la règle de codage associée à la re-définition conceptuelle de la grandeur B pour le cas des microétats, et ce codage fournit une traduction du groupe de marques physiques enregistrées, en termes d'une valeur B_j du spectre $\{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_k\}$ ⁴⁹ de la grandeur B , comme l'exige la définition d'une grille de qualification de me_G via la grandeur B .

Répétons un très grand nombre N de fois la réalisations de la même succession $[G.Mes(B)]$, en remettant à chaque fois le chronomètre à 0 comme pour des épreuves sportives. Idéalement, le domaine total d'espace-temps couvert sera à chaque fois le même : $[d_G.(t_G - t_0)]$. Quant au domaine d'espace-temps $[d_B.(t_B - t_G)]$, en général il variera car l'enregistrement final d'une manifestation observable aura des coordonnées d'espace-temps aléatoires (puisque la situation est en général probabiliste, donc à la base, statistique). L'on considérera donc le domaine d'espace-temps global couvert par l'ensemble des actes de mesure et on le désignera par la même notation. Si le nombre N est assez grand, l'ensemble de toutes les N répétitions de la succession $[G.Mes(B)]$ aura progressivement matérialisé toutes les valeurs du spectre $\{B_1, B_2, B_3, \dots, B_j, \dots, B_k\}$, $j = 1, 2, \dots, k$, de la grandeur B , puisque aucune parmi ces valeurs n'a une probabilité a priori nulle. Chacune de ces valeurs aura été obtenue avec une certaine fréquence relative. Et si N est très grand, alors l'ensemble $\{n(G, B_1)/N, n(G, B_2)/N, \dots, n(G, B_j)/N, \dots, n(G, B_k)/N\}$ des fréquences relatives obtenues sera assimilable à la loi correspondante de probabilité

$$\{p(G, B_j)\} = \{p(G, B_1), p(G, B_2), \dots, p(G, B_j), \dots, p(G, B_k)\}, j = 1, 2, \dots, k,$$

présupposée 'existante'. Bref, au bout de ces N réalisations d'une succession $[G.Mes(B)]$ le 'plafond' du domaine d'espace-temps $[d_G.(t_G - t_0) + d_A(t_A - t_G)]$ se trouvera finalement garni par toutes les valeurs du spectre $\{B_1, B_2, B_3, \dots, B_j, \dots, B_k\}$ de la grandeur B , et – sur un niveau descriptionnel supérieur – l'on pourra inscrire cet entier spectre ainsi que

⁴⁹ Nous supposons un spectre fini, pour simplifier.

l'entière loi factuelle de probabilité $\{p(G, B)\}$ constatée sur ce spectre. Or le couple de symboles numériques

$$[(B_1, B_2, B_3, \dots, B_j, \dots, B_k), \{p(G, B_j)\}]$$

est l'essence⁵⁰ de ce qui, dans la théorie moderne des probabilités formulée par Kolmogorov [1933]), est dénommé *un espace de probabilités* : le résultat qui s'est constitué est donc, en termes simplifiés, l'espace de probabilité qui inclut la loi de probabilité $\{p(G, B_j)\}$.

Considérons maintenant la grandeur C – qui par hypothèse est incompatible avec la grandeur B – et refaisons concernant C un chemin strictement analogue à celui qu'on vient d'indiquer concernant la grandeur B . Au bout d'un très grand nombre N de répétitions de la succession de deux opérations $[G.Mes(C)]$ couvrant un domaine global d'espace-temps $[d_G \cdot (t_G - t_0) + d_C \cdot (t_C - t_G)]$ qui cette fois correspond à $Mes(C)$. Au dessus du plafond de ce nouveau domaine d'espace-temps l'on aura finalement inscrit un autre espace de probabilité

$$[(C_1, C_2, C_3, \dots, C_q, \dots, C_m), \{p(G, C_q)\}].$$

Puisque les grandeurs B et C sont incompatibles, les deux domaines d'espace-temps $[d_B \cdot (t_B - t_G)]$ et $[d_C \cdot (t_C - t_G)]$ couverts respectivement par des $Mes(B)$ et des $Mes(C)$, seront différents. Mais le domaine d'espace-temps $[d_G \cdot (t_G - t_0)]$ couvert par l'opération de génération G est le même dans les successions $[G.Mes(B)]$ et les successions $[G.Mes(C)]$ parce que les mesures de la grandeur B et celles de la grandeur C ont été effectuées toutes sur des exemplaires du même microétat me_G engendré par l'opération de génération G . Ainsi la structure globale d'espace-temps de tout l'ensemble de successions de mesure accompli, est arborescente, avec un tronc commun couvrant le domaine d'espace-temps $[d_G \cdot (t_G - t_0)]$ et deux branches distinctes qui couvrent globalement deux domaines d'espace-temps $[d_B \cdot (t_B - t_G)]$ et $[d_C \cdot (t_C - t_G)]$ différents. Chaque branche est surmontée d'un espace de probabilité spécifique à la branche. C'est pour cette raison qu'il est adéquat d'appeler cette structure *un arbre de probabilité du microétat me_G correspondant à l'opération de génération G* (en bref, d'une opération G de génération, ou d'un microétat). On peut désigner cet arbre par le symbole $T[G, (V_M(B) \cup V_M(C))]$ (T : tree ; $(V_M(B) \cup V_M(C))$: la vue (grille) qualifiante constituée par l'union des grandeurs mécaniques redéfinies pour des microétats qui ont été dénotées par B et C).

Si l'on avait représenté toutes les branches possibles impliquées dans la description $D_M/G, me_G, V_M/$, correspondant à toutes les grandeurs mécaniques mutuellement incompatibles définies pour un microétat, l'on aurait dû employer l'article défini et dire '*l'arbre de probabilité...*'. Dans ce cas général la dénotation aurait été $T(G, V_M)$ ⁵¹.

⁵⁰ Pour simplifier, l'algèbre que l'on définit sur l'univers d'événements élémentaires n'est pas mentionnée dès maintenant. La définition complète d'un espace de probabilité sera rappelée dans un paragraphe suivant et une discussion très approfondie de ce concept se trouve dans MMS [2002b, 2006, 2014].

⁵¹ Attention ! L'expression 'arbre de probabilité' est employée dans d'autres contextes avec des significations diverses tout à fait différentes de celle qui lui est assignée ici.

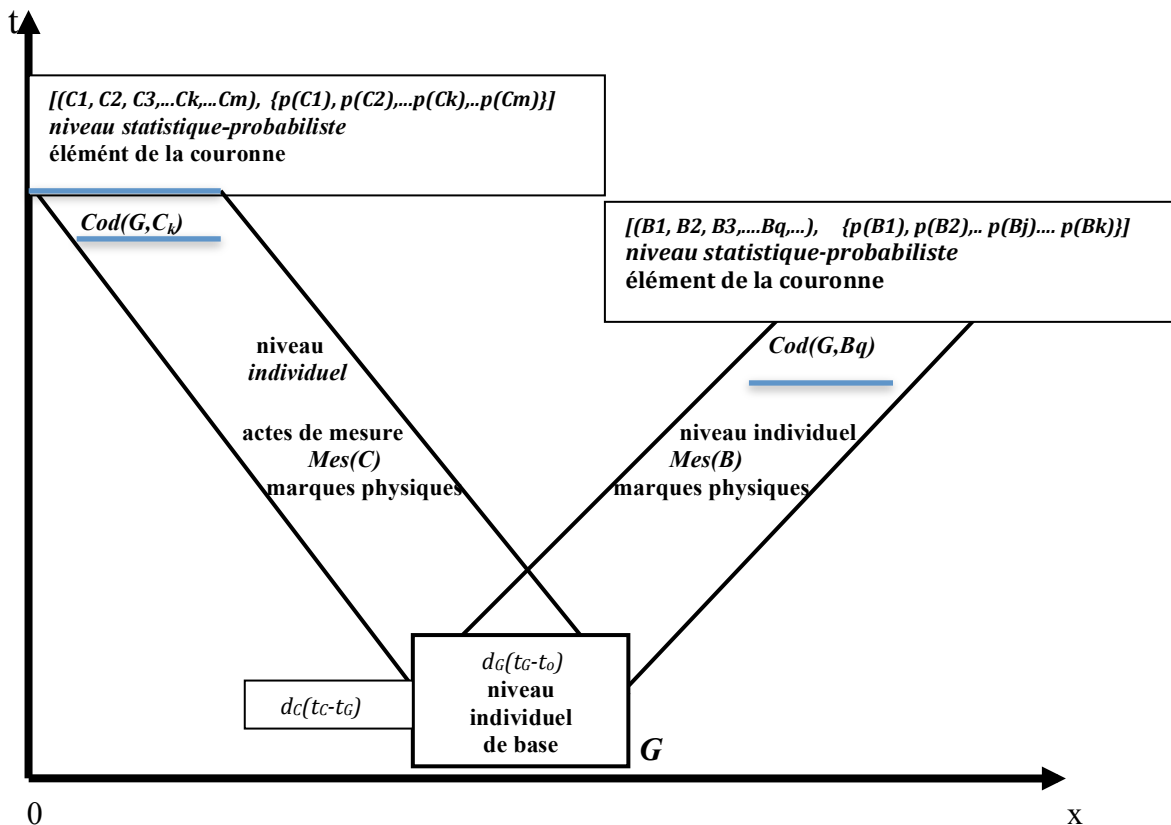


Fig. 3: Un arbre de probabilité $T[G, (V_M(B) \cup V_M(C))]$ de l'opération de génération G de un microétat.

Concernant le cas général notons maintenant ce qui suit. L'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ étale, géométrisée, l'entière structure du tracé d'espace-temps de la genèse opérationnelle accomplie par le concepteur humain afin d'établir une description transférée primordiale de microétat, $D_M^o/G, me_G, V_M/$.

L'effet global observable d'une telle genèse opérationnelle – isolé de sa genèse – auquel se réduit la 'description' globale proprement dite, dénotons-la

$$D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M,$$

est lui aussi explicitement représenté dans ce schéma : c'est par définition l'ensemble des symbolisations des espaces de probabilité qui coiffent les branches de $T(G, V_M)$ – des entités purement abstraites, conceptuelles (l'indice supérieur 'o' rappelle que la description construite se rapporte au moment initial t_0 de la mise en existence de me_G via G). Et il saute aux yeux maintenant que cet effet final, globalisé, abstrait, ne peut pas être représenté géométriquement lui aussi, car il ne consiste qu'en un ensemble de fréquences relatives de résultats numérisés par les codages qui ont été supposés. Ce n'est qu'une poudre numérique tirée de la genèse opérationnelle-épistémologique-méthodologique accomplie.

Mais ce résidu purement dénombrant constitue une pénétration comme *spontanée* sur le plancher du royaume des mathématisations. C'est cette première essence mathématique extraite de la genèse des descriptions transférées primordiales

$D_M^o/G, me_G, V_M/$, qui permettra une connexion définie avec les représentations analytiques et algébriques du formalisme de la mécanique quantique.

Qu'on ne se laisse pas porter par des impressions inertielles de trivialité. L'expression 'arbre de probabilité' est employée dans des contextes divers où elle n'implique aucune nouveauté conceptuelle. Mais le concept d'arbre de probabilité de l'opération de génération G d'un microétat est un concept probabiliste foncièrement nouveau qui *déborde* de plusieurs manières le concept d'un espace de probabilité de Kolmogorov. Pour s'en rendre compte il suffit de considérer les précisions qu'il comporte concernant les notions de phénomène aléatoire, de dépendance probabiliste et de 'méta-loi de probabilité, qui sont exposées plus bas.

2.6.1.2. *Le phénomène aléatoire isolé*

La théorie classique des probabilités est dépourvue d'une expression formalisée de la notion de phénomène aléatoire. Cette notion y est posée comme impliquant des entités factuelles, notamment physiques, qui engendrent un espace de probabilité, mais elle n'intervient que dans le substrat *verbal* de la théorie, de façon vague. On ne conceptualise et l'on ne représente mathématiquement que l'espace de probabilité – concept abstrait – dont les éléments, par contre, sont étudiés en détail. On peut caricaturer par le schéma :

$$[? \text{ 'phénomène aléatoire' } ?] \rightarrow [\text{espace de probabilité}]$$

Les signes d'interrogation soulignent le vide de conceptualisation factuelle-physique laissé en ce qui concerne la genèse d'un espace de probabilité. En mathématiques pures cette manière d'opérer peut être défendue au nom de la généralité maximale recherchée. Mais dans un domaine défini de la physique il peut devenir essentiel d'étudier les phénomènes aléatoires impliqués.

Or l'arbre de probabilité d'un microétat inclut une représentation minutieusement explicitée de, précisément, les phénomènes aléatoires-branches qui engendrent les événements élémentaires à partir desquels on construit ensuite les espaces de probabilité qui coiffent les deux branches. Tout ce qui dans la *figure 3* se trouve en dessous de l'écriture qui dénote l'espace de probabilités d'une branche, est phénomène aléatoire correspondant. On y voit, on comprend en détail, on sent toute la montée créatrice d'une "situation probabiliste" : L'opération de génération G crée l'entité-objet me_G à étudier, de l'intérieur de la factualité physique a-conceptuelle ; l'acte de $Mes(X)$, où, à tour de rôle, $X = B, C$, etc., s'empare de cette entité-objet – en la changeant par interaction avec l'appareil $A(X)$ – et porte cette entité incorporée dans l'interaction de mesure jusqu'au bord de la conceptualisation, en produisant les groupes $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques physiques observables sur les enregistreurs de $A(X)$.

La loi de codage $Cod(G, X)$ – supposée possible et connue – qui traduit un groupes $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques physiques observables, en une valeur numérique X_j de X et une seule, constitue un prolongement – conceptuel – du processus physique de mesure qui clôt ce processus par la récolte d'un nombre qui agit comme un 'point' dans l'écriture.

L'ensemble des nombres X_j , avec leurs probabilités $\{p^o(G, X_j)\}$, contribuent à la toute première couche de conceptualisé concernant le phénomène aléatoire logé dans le tronc et la branche de l'arbre $T(G, V_M)$ où sont logées les successions d'opérations $[G.Mes(X)]$, à savoir l'espace de probabilité correspondant $[\{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_k\}, \{p(G, X_j)\}]$ (où l'algèbre posée sur l'univers d'événements élémentaires est ici supprimée pour simplification).

Ainsi, à la faveur du cas particulier des microétats, le concept probabiliste général de phénomène aléatoire est en cours d'acquérir une représentation, qualitative mais à signification non restreinte (MMS [2006]). Or il apparaît que cette représentation est elle aussi (comme la description proprement dite de me_G) explicitement et foncièrement relative à l'opération de génération G de l'entité-objet-d'étude me_G , à cette entité me_G elle-même, et à la vue qualifiante V_X utilisée :

Cette sorte d'éléments descriptionnels G , me_G , V_X , et cette sorte de relativités à ceux-ci, n'interviennent pas dans la conceptualisation probabiliste classique, et pourtant il semble fortement vraisemblable qu'un examen attentif révélerait qu'ils sont implicitement présents et agissent en toute description probabiliste.

2.6.1.3. Dépendances probabilistes non-classiques

Jusqu'ici, pour simplifier, nous avons fait abstraction de l'algèbre d'un espace de probabilité au sens de Kolmogorov. Maintenant nous allons remédier à cette lacune afin de pouvoir faire des remarques importantes sur le concept de *dépendance probabiliste* concernant lequel Kolmogorov a écrit ([1950, p. 9]) :

«...one of the most important problems in the philosophy of the natural sciences is – in addition to the well known one regarding the essence of the concept of probability itself – to make precise the premises which would make it possible to regard any given real events as independent. »

Nous rappelons donc ce qui suit.

Un espace de probabilité $[U, \tau, p(\tau)]$ de Kolmogorov contient : un *univers* (ensemble) U d'événements élémentaires e_i , une *algèbre* τ d'événements e définie sur U , et une *mesure de probabilité* $p(\tau)$ qui est définie sur l'algèbre d'événements τ . Un événement au sens des probabilités est constitué par tout *ensemble* d'événements élémentaires. Une algèbre τ d'événements définie sur l'univers U d'événements élémentaires est un ensemble de sous-ensembles e de U (un *ensemble de* e_i) – contenant U lui-même ainsi que l'ensemble vide \emptyset – et qui est tel que si les sous-ensembles d'événements élémentaires A et B sont contenus dans U alors U contient également la réunion $A \cup B$ et la différence $A \setminus B$. Enfin, une *mesure de probabilité définie sur* τ consiste en un ensemble de nombres réels $p(A)$ dont chacun est associé à un événement A de τ et qui satisfont aux conditions suivantes : $0 \leq p(A) \leq 1$, $p(U) = 1$ (normation), $p(\emptyset) = 0$, et $p(A \cup B) \leq p(A) + p(B)$ où l'égalité se réalise ssi A et B sont disjoints (n'ont aucun événement élémentaire e_i en commun ($A \cap B = \emptyset$)).

Deux événements A et B de l'algèbre τ sont posés par définition être mutuellement '*indépendants*' si le produit numérique $p(A)p(B)$ de leurs probabilités est égal à la probabilité $p(A \cap B)$ de l'événement-produit-ensembliste $A \cap B$. (Cette définition est étendue au cas de deux (ou plusieurs) algèbres distinctes τ et $\tau' \neq \tau$, mais en présupposant la possibilité d'une réalisation conjointe de $A \in \tau$ et $B \in \tau'$)⁵².

Ces définitions restent pertinentes à l'intérieur – isolément – de *chaque* espace de probabilité qui coiffe une branche de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ du microétat me_G .

Considérons maintenant un événement $A(X)$ de l'algèbre d'événements $\tau(U(X_j))$ posée sur l'univers $U(X_j)$ d'événements élémentaires de l'espace de probabilité

$$[U(X_j), \tau(U(X_j)), p[\tau(U(X_j))]]$$

⁵² La théorie classique des probabilités ne définit pas directement une éventuelle dépendance entre deux (ou plusieurs) événements *élémentaires*. Une telle dépendance ne peut être appréhendée que par *comparaison* avec la loi de probabilité posée sur un univers produit cartésien qui implique U en tant que l'un des facteurs, et qui est lié à un phénomène aléatoire différent de celui qui engendre l'espace $[U, \tau, p(\tau)]$.

qui coiffe la branche de $T(G, V_M)$ correspondant à des $Mes(X)$. Et soit un événement $B(Y)$ de l'algèbre d'événements $\tau(U(Y_k))$ posée sur l'univers $U(Y_k)$ d'événements élémentaires de l'espace de probabilité

$$[U(Y_k), \tau(U(Y_k)), p[\tau(U(Y_k))]]$$

qui coiffe une autre branche de $T(G, V_M)$ correspondant à des $Mes(Y)$ incompatibles avec les $Mes(X)$.

Comment associer une définition mathématique à une dépendance – au sens *courant* du terme – entre deux événements de ce type ? Car selon la pensée naturelle deux tels événements ne sont certainement *pas* 'indépendants', puisqu'ils concernent le *même* microétat me_G produit par une et même opération de génération G . Pourtant la notion d'occurrence 'conjointe' qui intervient dans la définition probabiliste classique de la dépendance entre deux événements, n'a pas de sens dans ce cas, car – par construction de $T(G, V_M)$ – les deux événements $A(X_j)$ et $B(Y_k)$ ne se produisent jamais 'simultanément', i.e. pour un même exemplaire du microétat me_G : deux branches distinctes de $T(G, V_M)$ sont mutuellement incompatibles dans tous leurs éléments.

On pourrait se dire que l'incompatibilité entre $A(X_j)$ et $B(Y_k)$ est une forme limite de dépendance maximale, car ces deux événements s'excluent systématiquement, et donc, puisque les probabilités séparées $p(A(X_j))$ et $p(B(Y_k))$ ne sont pas nulles, on peut exprimer la dépendance en question en écrivant $p(A(X_j).B(Y_k)) = 0$, ce qui – comme il est exigé par la définition classique de la dépendance probabiliste – est bien différent de $p(A(X_j)) \times p(B(Y_k))$.

Mais on flaire un glissement, un abus d'extension de la syntaxe probabiliste classique.

La réticence se confirme lorsqu'on considère deux événements de deux arbres différents, fondés sur deux opérations de génération différentes G et G' , donc correspondant à deux microétats différents : Dans ce cas aussi la probabilité conjointe considérée plus haut est toujours nulle (si par 'conjoint' on entend 'pour un même exemplaire d'un microétat donné') cependant que les deux probabilités considérées isolément ne sont pas nulles. Mais d'autre part, se dit-on, pourquoi, dans ce nouveau cas, y aurait-il systématiquement dépendance ? Avec G et G' différents on se trouve dans deux schémas probabilistes distincts, pas dans un seul schéma, comme avec une seule opération G de génération d'un microétat.

Et en effet le point important est là : dans le cas des microétats le tout probabiliste qui s'impose est celui de l'ensemble des espaces de probabilité liés à une opération de génération G donnée, et une seule. Tandis que dans la conceptualisation classique du concept de probabilité l'opération de génération de l'entité impliquée dans les événements élémentaires et les événements, n'intervient pas.

Il semble clair que par cette absence – au moins – le domaine de validité de la conceptualisation probabiliste classique est confiné à un seul espace de probabilité, arbitrairement. Car lorsqu'on considère l'ensemble des espaces de probabilité appartenant à l'arbre de probabilité d'un microétat, une certaine notion de dépendance probabiliste s'impose intuitivement – en conséquence de l'existence du tronc commun de l'arbre. Or cette notion tout simplement dépasse la notion classique de dépendance probabiliste (cependant que la

notion de corrélation est insuffisamment spécifique).

Il faut élargir la conceptualisation probabiliste classique⁵³.

Cette conclusion se trouve renforcée juste ci-dessous.

2.6.1.4. Méta-phénomène aléatoire et méta-dépendances probabilistes

Chaque loi de probabilité $\{p^o(G, X_j), j = 1, 2, \dots, n\}$ de l'arbre $T(G, V_M)$ d'un microétat est contenue dans l'espace de probabilité qui coiffe une seule branche, et cette loi de probabilité est relative à la triade $(G, me_G, V_M(X))$ spécifique de cette branche-là. Mais le fait qu'un et même couple (G, me_G) est impliqué dans le tronc commun de tous les phénomènes aléatoires de toutes les branches de l'arbre, ainsi que dans toutes les lois de probabilité que ces phénomènes aléatoires produisent, conduit irrésistiblement à poser, par exemple, qu'entre la probabilité $p(Y_k)$ d'un événement élémentaire de la branche des $Mes(Y)$ de $T(G, V_M)$ et la loi de probabilité d'une autre branche de $T(G, V_M)$ – considérée globalement, car comment détailler ? – il existe une certaine relation 'méta-probabilistes'. On pose donc que l'on a⁵⁴

$$p^o(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p^o(G, X_j)\}.$$

Ici ' \mathbf{F}_{XY} ' est une relation fonctionnelle dont la structure reste à être spécifiée. (Dans le cas particulier de la *figure 3* on écrirait donc $p^o(Ck) = \mathbf{F}_{BC}\{p^o(B_j)\}$ où $\{p^o(B_j)\}$ désigne l'entière loi de probabilité sur les valeurs observables B_j de la grandeur B , qui est incompatible avec la grandeur C).

Quand dans $p^o(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p^o(G, X_j)\}$ on fait varier l'indice k de manière épuiser le spectre $\{Y_1, Y_2 \dots Y_k, \dots, Y_K\}$ de la grandeur Y , l'on construit l'expression complète de la corrélation induite par l'opération de génération commune G , entre les deux lois de probabilité $\{p^o(X_n)\}$ et $\{p^o(Y_k)\}$ logées dans les deux espaces de probabilité de Kolmogorov qui coiffent les deux branches de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ correspondant, respectivement à la grandeur X et à la grandeur Y . Nous dénotons cette corrélation par la relation fonctionnelle 'globale' $\mathbf{F}_{XY}(G)$.

Il existe un fait d'expérience (dont ici, par notre règle de jeu, on ne peut énoncer que l'essence qualitative) qui fonde plus concrètement le postulat avancé plus haut : A l'intérieur d'un arbre $T(G, V_M)$ donné, si la dispersion des valeurs observables Y_k de la grandeur Y distribuées selon la loi $\{p^o(Y_k)\}$, est grande, alors la dispersion des valeurs observables X_j de la grandeur X – incompatible avec Y – distribuées selon la loi $\{p^o(X_n)\}$, est petite. Et *vice versa*⁵⁵ :

Quelle que soit la forme mathématique de la relation fonctionnelle globale $\mathbf{F}_{XY}(G)$ de méta-dépendance probabiliste entre les lois de probabilité $\{p^o(X_n)\}$ et $\{p^o(Y_k)\}$,

⁵³ Ceci a été accompli de manière explicite et en termes tout à fait généraux, dans MMS [2002a, 2002b, 2006]. Mais sous une forme implicite, éparpillée, et – en plus – cryptique, c'est déjà aussi accompli à l'intérieur du formalisme de la mécanique quantique, depuis quelque 80 ans.

⁵⁴ Un physicien de la mécanique quantique reconnaîtra dans l'assertion posée le trait fondamental de la théorie des 'transformations' de Dirac (de la base choisie dans l'espace Hilbert du système). Il notera également que dans le formalisme quantique on n'associe pas à ce trait une signification probabiliste définie (qui, si elle était posée, devrait être reconnue comme non-classique).

⁵⁵ Un physicien reconnaît là tout de suite l'assise qualitative du *théorème* dit 'd'incertitude' établi dans le formalisme mathématique de la mécanique quantique (à ne pas identifier au *principe* d'incertitude de Heisenberg, qui est extérieur au formalisme quantique).

ce fait d'expérience implique que cette relation *existe*, et d'une façon qui comporte des manifestations physiques observables.

Selon le postulat posé, l'ensemble de tous les phénomènes aléatoires liés à toutes les grandeurs mécaniques X redéfinies pour des microétats et correspondant à un même couple (G, me_G) , peut être conçu comme un méta-phénomène aléatoire global qui est spécifique du microétat me_G ⁵⁶ : Ce méta-phénomène aléatoire global est induit par l'opération de génération G commune qui peuple le tronc de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$.

Faisons maintenant abstraction de la genèse de la description globale proprement dite $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$.

Considérons d'abord l'ensemble de toutes les lois de probabilité qui constituent cette description finale proprement-dite. Ces lois de probabilité coiffent les branches de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ comme une couronne qui ne participe nullement de la nature factuelle, physique, du tronc et des branches. En effet ces lois sont construites sur la base de données physiques – à savoir les groupes de marques physiques $\{\mu_{kh}\}, k = 1, 2, \dots, m$ qui ont été enregistrés à la suite de la réalisation d'une succession $[G.Mes.X], \forall V_X \in V_M$. Mais le codage de chaque tel groupe en termes d'une 'valeur' X_j du spectre de X est un acte de conceptualisation qui introduit la donnée X_j dont la nature est abstraite. A fortiori, la distribution statistique probabiliste des valeurs X_j de X est un construit conceptuel abstrait. Ainsi la description globale proprement dite $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ est une couronne conceptuelle, abstraite, déposée sur les branches de l'arbre $T(G, V_M)$ où se trouvent logées des entités physiques, $G, me_G, Mes(X)$.

Prenons maintenant en compte également toutes les relations méta-probabilistes du type $p^o(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p(G, X_j)\}$ qui expriment les corrélations posées entre toutes les paires distinctes de lois de probabilités 'de branche' que l'on peut former à l'aide de l'arbre $T(G, V_M)$. Celles-ci, sur un niveau de conceptualisation immédiatement superposé à celui où se place la description globale proprement dite $D_M^o(me_G)$, tressent ce que l'on peut regarder comme 'une' méta-loi de probabilité, comme 'la' *méta-loi de probabilité spécifique de me_G* . Dénotons-la par le symbole $Mlp^o(me_G)$ ^{57 58}.

Bref, l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ est coiffé par une couronne d'éléments conceptuels, abstraits, superposés sur deux niveaux distincts de conceptualisation.

La suite des remarques qui viennent d'être faites peut être synthétisée en disant que :

L'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ d'un microétat me_G constitue un tout probabiliste nouveau où les différents phénomènes aléatoires et les différents espaces de probabilité qui interviennent, s'unissent de manière organique.

On pourrait avoir tendance à subsumer les relations méta-probabilistes posées plus haut, au concept probabiliste classique de 'corrélation probabiliste'. Mais en fait les caractéristiques spécifiques du type de relations signalées ici, n'ont aucun correspondant expli-

⁵⁶ Les logiciens emploient quelquefois le mot 'méta' pour désigner le langage d'immersion du langage considéré. J'attire l'attention qu'ici, au contraire, ce mot est employé comme signifiant 'au dessus', 'qui, d'un point de vue constructif, se place à un niveau conceptuel plus élevé que celui où émerge le concept classique d'un seul phénomène aléatoire'.

⁵⁷ Le singulier souligne l'unité instillée par l'unicité de la paire (G, me_G) qui intervient dans toutes ces lois de probabilité.

⁵⁸ Mackey [1963], Suppes [1966], Gudder [1976], Beltrametti and Maczynski [1991], et d'autres (probablement à ce jour même), ont recherché – par des voies purement mathématiques – une formulation satisfaisante pour une méta-loi de probabilité associable à l'entier vecteur d'état $|\psi\rangle$ correspondant à un microétat me_G . Ici le fondement qualitatif d'une telle formulation se fait jour naturellement et il permettra peut-être d'identifier à l'avenir la forme mathématique pertinente de la fonctionnelle dénotée $Mlp(me_G)$.

citement élaboré dans le calcul classique des probabilités. Ici on est en présence de métarelations de ‘dépendance’ probabilistes d’un type bien défini, foncièrement liée au fait particulier mais très fréquent que les lois de probabilité $\{p^o(Y_k)\}$ et $\{p^o(X_n)\}$ concernent le même microétat. La conceptualisation probabiliste classique n’individualise pas cette sorte particulière de corrélations et la condition spécifique de leur émergence.

2.6.1.5. *La logique de l’ensemble des événements d’un arbre de probabilité d’un microétat*

Si au lieu de chercher une ‘logique quantique de propositions’ fondée directement sur la structure mathématique des algorithmes quantiques Hilbert-Dirac (von Neumann, Birkhoff, Jauch, Piron), l’on descend au niveau plus profond et plus général de la conceptualisation des microétats où se placent les arbres de probabilité des opérations de génération G , et si l’on y définit la logique des événements d’un arbre de probabilité d’un microétat donné, alors se révèle un terrain conceptuel beaucoup plus naturel, en ce sens qu’il est clairement pré-organisé en relation organique avec les aspects téléologiques-opérationnels-épistémologiques. Ceci permet d’unifier très naturellement la logique de l’ensemble des événements liés à un microétat donné, avec les probabilités de ces événements (MMS [1992c]).

Cela conduit ensuite à une refonte générale du concept de probabilité et à une unification générale entre les conceptualisations probabiliste et logique MMS [2002b, 2006]).

2.6.1.6. *Conclusion sur l’arbre de probabilité de l’opération de génération d’un seul microétat d’un seul micro-système*

Le concept qualitatif d’arbre de probabilité d’un micro-état me_G de un micro-système qui déploie la structure globale d’espace-temps des actions cognitives du concepteur-observateur qui opère la genèse de la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$, met au grand jour des implications non classiques de cette forme descriptionnelle. Celles-ci – avec l’inclusion des compatibilités et incompatibilités mutuelles entre des processus individuels de mesure effectués sur un seul exemplaire du microétat étudié, les conséquences en termes de méta-dépendance probabiliste, et avec la signification méta-probabiliste de l’ensemble des lois de probabilité qui coiffent les branches d’un arbre $T(G, V_M)$ – constituent un apport nouveau, et qui est transposable au concept général de probabilité (MMS [2006, 2014]).

2.6.2. *Deux généralisations du concept d’arbre de probabilité de l’opération de génération G d’un microétat*

Dans 2.6.1 nous avons considéré seulement le cas fondamental de l’arbre de probabilité d’un microétat de un micro-système et à opération de génération ‘simple’ (pas composée). Que devient ce concept dans le cas d’un micro-état de plusieurs micro-systèmes, ou dans le cas d’un microétat à génération composée ?

2.6.2.1. *L’arbre de probabilité d’un seul micro-état de deux ou plusieurs micro-systèmes*

Le concept d’arbre de probabilité établi pour un micro-état d’un seul micro-système se transpose d’une manière évidente à un micro-état de deux ou plusieurs micro-systèmes (cf. les définitions de 2.4.2).

Pour fixer les idées, considérons un micro-état de 2 micro-systèmes, S_1 et S_2 , en-

gendré par une opération de génération d'état G_{12} qui soit a seulement impliqué les deux micro-systèmes S_1 et S_2 , soit les a même engendrés. Symbolisons ce micro-état par $me_{G_{12}}$. Soit $T(G_{12}, V_M)$ l'arbre de probabilité correspondant. Dans ce cas une opération de mesure opérée sur un exemplaire du micro-état $me_{G_{12}}$, si elle est 'complète', comporte (par la définition correspondante de 2.4.2) [une mesure $Mes_1(X)$ d'une grandeur X , opérée sur le micro-système S_1 comporté par l'exemplaire considéré du micro-état $me_{G_{12}}$] *et* [une mesure $Mes_2(Y)$ d'une grandeur Y , opérée sur le micro-système S_2 comporté par ce même exemplaire considéré du micro-état $me_{G_{12}}$] (en général X et Y sont différentes). Dénotons par $Mes_{12}(XY)$ une telle mesure complète (par convention, ici l'ordre d'écriture XY indique que X concerne le micro-système S_1 de l'exemplaire considéré du micro-état $me_{G_{12}}$ et Y concerne le micro-système S_2 comporté par ce même exemplaire du micro-état $me_{G_{12}}$).

Soit $\{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_\phi\}$ le spectre des valeurs de X qui sont prises en considération (cf. la note 15) comme pouvant apparaître par une mesure de X , faite sur un micro-état du micro-système S_1 ou sur un micro-état du micro-système S_2 , n'importe)⁵⁹ ; ϕ est un entier qui dénote le nombre total (le cardinal de l'ensemble) des valeurs du spectre de X . Soit $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_k, \dots, Y_\phi\}$ le spectre des ϕ valeurs de Y prises en considération comme pouvant apparaître par une mesure de Y (qu'elle ait été faite sur un micro-état du micro-système S_1 , ou du micro-système S_2 , n'importe).

Les événements élémentaires de l'espace de probabilité qui coiffe la branche de l'arbre de probabilité $T(G_{12}, V_M)$ du micro-état $me_{G_{12}}$ qui correspond à des mesures complètes $Mes_{12}(XY)$ (formées chacune d'une $Mes_1(X)$ et d'une $Mes_2(Y)$), consistent en toutes les paires possibles $(X_{j,1}, Y_{k,2})$ d'une valeur du spectre de X dénotée $X_{j,1}$ enregistrée – dans un exemplaire donné du micro-état $me_{G_{12}}$ – pour le micro-système S_1 qui y est impliqué, et d'une valeur de Y dénotée $Y_{k,2}$, enregistrée – dans le même exemplaire du micro-état $me_{G_{12}}$ – pour le micro-système S_2 qui y est impliqué. L'ensemble $\{(X_{j,1}, Y_{k,2})\}, j = 1, 2, \dots, \phi, k = 1, 2, \dots, \phi$, des paires $(X_{j,1}, Y_{k,2})$ prises en considération comme possibles constitue donc l'univers des événements élémentaires correspondant à une mesure complète $Mes_{12}(XY)$ sur $me_{G_{12}}$.

On peut avoir en particulier $X \equiv Y$. Mais en général les deux grandeurs considérées sont différentes et elles peuvent même être mutuellement non-compatibles, dans le cas d'un micro-état de un micro-système : Car ces distinctions n'ont pas de conséquences sur le fait suivant.

Pour un micro-état de *deux* micro-systèmes, les grandeurs X et Y intervenant dans une $Mes_{12}(XY)$ complète, sont toujours 'compatibles', en ce sens que, puisqu'elles sont effectuées sur deux micro-systèmes distincts S_1 et S_2 , elles s'incorporent respectivement à un acte de mesure d'indice 1 et un acte de mesure d'indice 2, et que l'on peut toujours réaliser ces deux actes de mesure simultanément sur un seul exemplaire du micro-état étudié $me_{G_{12}}$ ⁶⁰.

Il en résulte que les deux actes de mesure de la paire $(Mes_1(X), Mes_2(Y))$ qui consti-

⁵⁹ Par convention on pose ici que le cardinal du spectre d'une grandeur reste invariant lorsqu'on passe d'une entité qualifiée à l'aide de cette grandeur, à une autre. Cela ne restreint aucun aspect essentiel.

⁶⁰ Selon les définitions posées dans le paragraphe 2.4.2 de ce travail, et en généralisant le critère de compatibilité de grandeurs posé dans 2.5.3.2 pour le cas d'un micro-état de *un* micro-système tout en conservant l'essence de ce critère, c'est bien la possibilité de réaliser simultanément sur un seul exemplaire du micro-état étudié, toutes les mesures partielles impliquées dans une mesure complète, qui est l'unique critère de 'compatibilité' des grandeurs impliquées dans les actes de mesure partielle réalisables sur ce micro-état là. Ce critère unique vaut quel que soit, parmi les différents types de définitions posés dans 2.4.2, le type auquel appartient le micro-état considéré. Ainsi se distillent ici – et se séparent – d'une part les relativités impliquées dans le concept général de grandeurs compatibles, et d'autre part l'essence invariante du concept de "complémentarité".

tuent ensemble un acte de mesure complète $Mes_{12}(XY)$ sur $me_{G_{12}}$, appartiennent toujours à une même branche de l'arbre de probabilité $T(G_{12}, V_M)$ de $me_{G_{12}}$, celle des $Mes_{12}(XY)$ (pas des $Mes_{12}(ZW)$, etc.) qui est coiffée par l'espace de probabilité fondé sur l'univers des événements – ‘élémentaires’ au sens des probabilités – constitué de l'ensemble de paires $\{X_{1j}Y_{2k}\}$, $j = 1, 2, \dots, \phi$, $k = 1, 2, \dots, \varphi$, telles qu'elles viennent d'être définies. Donc :

Les deux événements $X_{j,1}$ et $Y_{k,2}$ produits par ces deux actes de mesure $Mes_1(X)$ et $Mes_2(Y)$ – observables séparément – appartiennent néanmoins toujours à *un même* événement ‘élémentaire’ $Mes_{12}(XY)$ au sens des probabilités, d'un même espace de probabilités de l'arbre de probabilité du micro-état $me_{G_{12}}$. Cela quelle que soit la distance d'espace-temps qui sépare les deux événements physiques [enregistrement de la valeur $X_{j,1}$ sur l'exemplaire considéré du micro-état $me_{G_{12}}$] et [enregistrement de la valeur $Y_{k,2}$ sur ce même exemplaire du micro-état $me_{G_{12}}$] (i.e. quelle que soit la distance qui sépare les deux ici-maintenant au sens de la relativité, des deux événements physiques spécifiés).

Cela en conséquence du fait que les descriptions de microétats sont dépourvues d'une structure définie d'espace-temps. Seules les représentations – classiques – des actions descriptives du concepteur-observateur macroscopique sont dotées d'une telle structure.

Que peut-on dire concernant la dépendance ou l'indépendance probabiliste mutuelle des événements physiques $X_{j,1}$ et $Y_{k,2}$ impliqués dans l'univers de paires $\{X_{1j}Y_{2k}\}$, $j = 1, 2, \dots, \phi$, $k = 1, 2, \dots, \varphi$, où l'ici-maintenant d'un événement $X_{j,1}$ peut être arbitrairement éloigné de l'ici-maintenant de l'événement Y_{2k} qui lui est apparié ?

Comme il a été déjà remarqué, le calcul des probabilités classique n'offre aucune façon de répondre à cette question à l'intérieur même de l'espace de probabilité, où les paires $X_{1j}Y_{2k}$ ont le rôle d'événements élémentaires, car **(a)** la définition classique de la dépendance probabiliste ne s'applique pas aux événements élémentaires de l'univers qui fonde l'espace, et **(b)** si l'on passe dans l'algèbre d'événements posée dans cet espace, la définition classique de la dépendance est liée au concept de produit ensembliste (intersection ensembliste) de deux événements de l'algèbre, et ce produit, dans le cas considéré, ne contient que des paires entières, donc ce concept ne permet pas de séparer une paire $X_{1j}Y_{2k}$ dans ces éléments.

Mais on peut utiliser une voie indirecte. Rien n'interdit de considérer séparément : **(a)** l'espace de probabilité fondé sur, exclusivement, l'ensemble des événements physiques X_{1j} de l'univers (probabiliste) $\{X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, \dots, X_{1\phi}\}$ (qui en général est le seul accessible à l'observateur qui exécute des mesures sur le micro-système S_1 (dénotons par 01 cet observateur)) et d'assigner cette fois aux événements X_{1j} un caractère d'‘élémentarité’ probabiliste⁶¹ ; et **(b)** l'espace de probabilité fondé sur l'ensemble $\{Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2k}, \dots, Y_{2\varphi}\}$ des événements physiques Y_{2k} qui en général sont les seuls perceptibles par l'observateur qui performe les mesures sur le micro-système S_2 (dénotons cet observateur par 02) et qui cette fois sont regardés eux aussi comme des événements élémentaires au sens des probabilités. Ainsi l'univers de paires élémentaires $\{X_{1j}Y_{2k}\}$, $j = 1, 2, \dots, \phi$, $k = 1, 2, \dots, \varphi$, aura été scindé en deux univers distincts d'événements élémentaires individuels. Si ensuite l'on compare la distribution statistique (dite de ‘probabilités’) sur l'univers des paires $\{X_{1j}Y_{2k}\}$, $j = 1, 2, \dots, \phi$, $k = 1, 2, \dots, \varphi$, aux deux distributions statistiques (de ‘probabilités’) sur les univers $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, \dots, X_{1\phi}$, $j =$

⁶¹ Le caractère d' ‘élémentarité’ au sens probabiliste, est *foncièrement relatif*. Notamment, il est relatif à la manière d'introduire une entité dans le rôle descriptif d'une entité-à-qualifier (cf. MMS [1992a, 2002a, 2002b, 2006, 2014]).

$1, 2, \dots, \phi$, et $\{Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2k}, \dots, Y_{2\phi}\}, k = 1, 2, \dots, \phi$, considérés séparément, on trouve – *ceci est un fait* – que la probabilité d'un événement $X_{1j}Y_{2k}$ selon la distribution trouvée sur $\{X_{1j}Y_{2k}\}, j = 1, 2, \dots, \phi, k = 1, 2, \dots, \phi$, n'est en général **pas** égale au produit des deux probabilités que les deux événements X_{1j} et Y_{2k} impliqués possèdent, respectivement, à l'intérieur des univers $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, \dots, X_{1\phi}\}, j = 1, 2, \dots, \phi$, et $\{Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2k}, \dots, Y_{2\phi}\}, k = 1, 2, \dots, \phi$, considérés séparément. Selon les règles du langage de la théorie classique des probabilités, il est permis d'exprimer ce fait en disant qu'il y a une dépendance probabiliste entre les événements X_{1j} et les événements Y_{2k} obtenus 'à partir' des mesures complètes $Mes_{12}(XY)$. On peut également exprimer ce fait en disant que les univers $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, \dots, X_{1\phi}\}, j = 1, 2, \dots, \phi$, et $\{Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2k}, \dots, Y_{2\phi}\}, k = 1, 2, \dots, \phi$, sont 'corrélés'.

Or – comme le permet la scission $MS - B$ – dans la représentation obtenue cette dépendance ou corrélation émerge en dehors de toute restriction d'espace-temps.

Et en outre, la strate de conceptualisation radicalement première, en termes de descriptions transférées primordiales, qui est considérée ici, est dépourvue par construction de tout substrat de déjà conceptualisé préalablement, cependant que cette strate elle-même consiste exclusivement en groupes de marques observables transférées sur des enregistreurs d'appareils et codés. Point. Donc selon l'ordre de constructibilité des conceptualisations qui s'amorce dans le travail présent, la dépendance constatée se manifeste comme inscrite primordialement, sans aucune 'explication' logeable à son intérieur même, ou bien 'en dessous'. Et si l'on veut alors tenter une explication à l'intérieur d'une phase de conceptualisation subséquentes selon cet ordre de constructibilité des conceptualisations – une explication qui soit contrôlable en quelque sens et consensuelle – il faudrait être en possession de normes admises généralement pour élaborer le passage d'une description transférée primordiale, à une modélisation explicative superposée (une première esquisse de telles normes est donnée dans MMS [2002a, 2002b, 2006]). Tant que de telles normes ne sont pas encore élaborées, les manifestations probabilistes liées aux descriptions transférées primordiales de microétats de deux ou plusieurs micro-systèmes, ne sont simplement pas 'explicables', elles sont juste des faits d'observation, des données factuelles.

Ajoutons ceci : Dans un arbre de probabilité absolument quelconque, même les méta-dépendances 'probabilistes' (corrélations méta-statistiques) $p^o(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p^o(G, X_j)\}$ entre des spécifications probabilistes qui coiffent deux branches distinctes, ont elles aussi un caractère primordial qui juste se manifeste de manière factuelle, mais est dépourvu de toute 'explication' ou 'cause' formulable à l'intérieur de cette même phase de conceptualisation transférée primordiale (qui est aussi la seule prise en considération par le formalisme mathématique de la mécanique quantique (2.3.2.4)). Et notons que dans cette phase transférée primordiale, les 'corrélations statistiques' de méta-dépendance $p^o(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p(G, X_j)\}$ émergent elles aussi libres de toute contrainte d'espace-temps, juste innées dans la représentation.

Tout simplement il en est ainsi. Il s'agit de données premières⁶².

⁶² Le 'problème de non localité', on l'aura déjà bien noté, concerne précisément un micro-état de deux micro-systèmes. Et l'on s'y étonne que la mécanique quantique – qui a été construite en tant qu'une représentation transférée primordiale des microétats, encore dépourvue de structure interne d'espace-temps – implique le type de corrélations mentionné, qui ne s'accorde pas avec certaines exigences des théories de la relativité d'Einstein élaborées dans le cadre de la pensée causale classique, concernant des mobiles macroscopiques. On imagine les réactions qu'a pu produire la situation déli-

Tout autre trait de conceptualisation, notamment la définissabilité d’une structuration limitante, individuante, et d’un postulat de causalités agissant entre des individualités, ne peut émerger constructivement qu’à des niveaux de conceptualisation placés plus ou moins loin au-dessus de la bien connue ‘coupure [quantique-classique]’ ; en tout cas certainement au-dessus de la modélisation microphysique de Broglie-Bohm, dans une zone déjà classique où les ‘aspects ondulatoires’ peuvent être négligés relativement à des buts descriptionnels qui peuvent être explicités.

2.6.2.2.

Considérons d’abord un microétat $me_{G(G_1, G_2)}$ à génération composée, d’un seul micro-système S , engendré par l’action sur S d’une opération de génération $G(G_1, G_2)$ où se composent seulement deux opérations de génération G_1 et G_2 (cf. 2.2.4). Le fait suivant est à noter attentivement. Le microétat à génération composée $me_{G(G_1, G_2)}$ engendré pour le micro-système S par l’opération de génération composée $G(G_1, G_2)$ – comme tout microétat donné – est lié à un seul arbre de probabilité $T(G(G_1, G_2), V_M)$ (où V_M est une ‘vue mécanique définie pour des microétats’). Néanmoins, on s’attend irrésistiblement à ce qu’il y ait une relation définie entre le microétat à génération composée $me_{G(G_1, G_2)}$ effectivement produit par $G(G_1, G_2)$ et les deux microétats me_{G_1} et me_{G_2} qui se seraient réalisés, respectivement, si soit G_1 seul, soit G_2 seul, avait agi sur S . Et l’on s’attend également à ce que cette relation actuel-virtuel se reflète de quelque manière dans une relation entre l’arbre $T(G(G_1, G_2), V_M)$ du microétat effectivement réalisé $me_{G(G_1, G_2)}$, et d’autre part les arbres $T(G_1, V_M)$ et $T(G_2, V_M)$ des deux microétats me_{G_1} et me_{G_2} qui auraient pu se réaliser pour S si G_1 seul ou G_2 seul, respectivement, avait agi sur un état de départ quelconque de S . Toutefois, dans l’approche présente qui ignore le formalisme mathématique de la mécanique quantique et est exigée strictement qualitative, on ne peut répondre à cette attente qu’en signalant un fait d’observation directe exprimé dans les termes qualitatifs *negatifs* suivants.

Imaginons que tous les trois arbres $T(G_1, V_M)$, $T(G_2, V_M)$, $T(G(G_1, G_2), V_M)$ ont été effectivement réalisés et que les lois de probabilité qu’ils comportent peuvent être comparées expérimentalement. Soit X une grandeur qui contribue à la vue mécanique V_M . Soit $p12(X_j)$ la probabilité assignée dans $T(G(G_1, G_2), V_M)$ à l’événement qui consiste en l’enregistrement de la valeur X_j de X . Et soient $p1(X_j)$ et $p2(X_j)$, respectivement, les probabilités assignées à ce même événement dans les arbres $T(G_1, V_M)$ et $T(G, V_M)$ des microétats me_{G_1} et me_{G_2} : La probabilité $p12(G(G_1, G_2), X_j)$ n’est – en général – pas la somme des probabilités $p1(G_1, X_j)$ et $p2(G_2, X_j)$ (cf. MMS [1992b] : En général on a

$$p12(G(G_1, G_2), X_j) \neq p1(G_1, X_j) + p2(G_2, X_j)$$

née plus haut, sur des esprits formés dans la pensée classique, disciplinés par la logique classique et la théorie classique des probabilités, et par la physique *macroscopique* où se trouvent logées les théories de la relativité d’Einstein ; et en plus, dans l’absence des concepts de description transférée primordiale et d’arbre de probabilité d’un micro-état de deux micro-systèmes. Ceci dit, la question de non-localité soulève une question qui dépasse les conséquences purement épistémologiques de la seule structure interne des descriptions de microétats construites par l’homme. Elle parvient à définir un face-à-face direct entre les implications d’espace-temps de cette structure descriptionnelle, et d’autre part des faits d’observation, du donné factuel. Par cela elle s’étend à, précisément, la question de la modélisation adéquate de micro-phénomènes ainsi qu’à la relation entre une telle modélisation et d’autre part les modèles classiques d’objets à contours définis, à interactions ‘causales’, et à structure d’espace-temps interne bien définie. Or le concept de temps touche à la fois au psychique – où, peut-être, il naît – et au métaphysique ; il est lié à la question de la mort et de l’au-delà (MMS [2006, pp. 283–311]). Il place le concepteur sur un point de frontière de la rationalité, où la scission $MS - B$ produit une explosion au nez de l’entendement humain.

En *ce* sens, le microétat $me_{G(G_1, G_2)}$ ne peut pas non plus être regardé comme la ‘somme’ des deux microétats me_{G_1} et me_{G_2} . On peut exprimer cette situation – et on le fait – en imaginant que les microétats me_{G_1} et me_{G_2} se ‘réalisent’ tous les deux à l’intérieur du microétat à génération composée $me_{G(G_1, G_2)}$, mais qu’ils y ‘interagissent’ ou ‘interfèrent’ en modifiant mutuellement les effets probabilistes observables que chacun produit lorsqu’il se réalise séparément.

Les caractères d’un arbre de probabilité correspondant à un micro-état à génération composée qui, en plus, est aussi un micro-état de deux ou plusieurs micro-systèmes, découlent facilement des spécifications précédentes.

Là encore s’introduit une classe de dépendances probabilistes dotée de spécificités non classiques⁶³.

2.6.2.3. *La généralité de l’absence de structure d’espace-temps dans l’effet observable global des actions cognitives qui engendrent une description de microétat*

L’absence de structure propre d’espace-temps des signes et nombres de $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$, qui symbolisent et totalisent les effets d’une action *descriptionnelle humaine* $D_M^o/G, me_G, V_M/$ – constatée d’abord pour le cas fondamental de l’arbre de probabilité d’un microétat de un micro-système et à opération de génération simple – subsiste pour toute sorte d’arbre de probabilité d’un microétat.

Pour tout tel arbre la description finale globale consiste en – exclusivement – des marques observables éparses sur des enregistreurs d’appareils différents et placés dans des endroits d’espace non spécifiés, arbitrairement éloignés les uns des autres. Ces marques émergent à des moments divers et non spécifiés du temps social des observateurs-concepteurs. Le support d’espace-temps de ce qui est observé au bout de toutes les actions de description primordiale transférée correspondantes à toutes les grandeurs mécaniques considérées, en général n’est pas connexe. Et toutes les caractérisations statistiques significatives (tendance à convergence, corrélations) que l’on peut trouver par des dénombrements a posteriori de telle ou telle description observable achevée, y sont inscrites d’une manière indépendante de toutes les spécifications opérationnelles d’espace ou de temps mises en jeu par l’observateur-concepteur cependant qu’il engendrait la genèse de la description. Les qualifications-cadre d’espace et de temps opérées par l’observateur – irrépressibles dans son esprit et essentielles afin qu’il puisse construire une description transférée de base $D_M^o/G, me_G, V_M/$ et lui assigner un sens défini – ne laissent aucune trace dans cette description proprement dite finale $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ elle-même : Car aucune place conceptuelle n’y est aménagée où l’on pourrait loger des qualifications d’espace-temps.

Seule une éventuelle modélisation ultérieure des microétats et de leurs interactions de mesure avec des appareils macroscopiques, pourrait construire des qualifications d’espace et de temps liées a posteriori à l’effet final observable d’une action *descriptionnelle* $D_M^o/G, me_G, V_M/$ ⁶⁴.

⁶³ Il apparaîtra dans la deuxième partie de ce travail qu’il s’agit des microétats le plus spécifiquement “non classiques”, qui font obstruction à une formalisation Hilbertienne.

⁶⁴ La modélisation microscopique de Broglie-Bohm tend à accomplir cela, mais implicitement (non-dite donc non-spécifiée et non-consensuelle, et surtout, sans introduire – ne permettre – une “individuation” et une ‘causalité locale’ liée à un observateur inertiel, comme le fait la relativité restreinte d’Einstein ; ni une causalité locale à consensus parmi des observateurs quelconques, comme le fait la relativité générale d’Einstein.

2.7. Conclusion générale

sur le concept d'arbre de probabilité de l'opération G de génération d'un microétat

Les généralisations du concept d'arbre de probabilité d'un seul microétat qui viennent d'être spécifiées dans 2.6.2.1 et 2.6.2.2, confrontées aux définitions générales de 2.4.2, entraînent que le concept d'arbre de probabilité s'étend à toutes les sortes possibles de microétats, tout en acquérant dans chacun des cas considérés certaines caractéristiques nouvelles, spécifiques de ce cas⁶⁵. Donc le symbole $D_M^o/G, me_G, V_M/$ – où désormais me_G désigne un micro-état absolument quelconque – impliquant un micro-état lié ou non, un seul micro-système ou plusieurs, ou une opération de génération simple ou composée – est doté d'une signifiante non-restreinte.

Le contenu de chacun des symboles qui interviennent dans la notation $D_M^o/G, me_G, V_M/$ a déjà été amplement explicité. Pourtant le désigné global de cette notation restait abstrait, non intuitif. Tandis que la représentation d'espace-temps $T(G, V_M)$ – géométrisée – de l'ensemble de toutes les genèses-branches qui composent la genèse de l'entière description dénotée $D_M^o/G, me_G, V_M/$, en rend immédiatement présents à l'intuition tous les contenus, aussi bien que leurs relations.

Notamment, elle frappe les yeux avec le fait, essentiel, que la description mécanique 'proprement dite' du microétat étudié me_G , à savoir la description proprement dite globale $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, \forall X \in V_M$ de l'ensemble de toutes les lois de probabilité liées à me_G , seulement coiffe les branches de l'arbre, et que si la genèse symbolisée par la triade $/G, me_G, V_M/$ est ignorée, cette description globale proprement dite ne peut paraître qu'un chapeau qui se tient dans l'air mystérieusement. Car c'est le tronc avec l'une des branches qui constituent ensemble un phénomène aléatoire conduisant à l'une des lois de probabilité de la couronne $\{p^o(G, X_j)\}, \forall X \in V_M$, et si ce phénomène aléatoire reste implicite on ne 'comprend' pas comment cette loi de probabilité a été obtenue. Et de même, c'est le tronc de l'arbre $T(G, V_M)$ avec l'ensemble de toutes ses branches, donc l'entier arbre $T(G, V_M)$, qui introduit le concept d'un méta-phénomène aléatoire qui engendre, soutient, explique, aussi bien la description 'proprement-dite' globale et explicite de me_G que nous avons dénotée $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\} \equiv D_M^o, \forall X \equiv V_M$, que – sur un deuxième niveau de conceptualisation probabiliste, superposé – l'ensemble de toutes les relations métaprobabilistes $p^o(Y_k) = \mathbf{F}_{XY} \{p^o(G, X_j)\}$ ⁶⁶ qui définissent 'la' méta-loi de probabilité spécifique de $me_G, Mlp^o(me_G)$ (2.6.1.4). Cette méta-loi de probabilité est donc spécifique de G elle aussi, et même plus fondamentalement et plus directement que de me_G , en vertu du caractère opérationnel-physique de G , de la primauté temporelle de G face à me_G , et de la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$.

La paire de descriptions étagées $(D_M^o(me_G), Mlp^o(me_G))$ contient toutes les qualifications liées à me_G que l'on peut produire au moment initial de sa mise en existence via G .

Ceci attire l'attention sur l'importance cruciale du processus de génération G d'un microétat. Car c'est l'opération de génération G qui fonde l'unité du concept de méta-phénomène aléatoire dénoté $T(G, V_M)$, et celui-ci induit des dépendances probabilistes observables mais que la théorie classique des probabilités ne singularise pas. Or, on

⁶⁵ Pour un physicien de la mécanique quantique, s'il examine attentivement la situation conceptuelle, cela exprime d'ores et déjà que le concept d'arbre de probabilité sous-tend l'entier formalisme quantique.

⁶⁶ Dont *IMQ* seulement affirme l'existence et la forme générale, sans en spécifier la forme particulière en termes mathématiques : celle-ci reste à être spécifiée.

l'a vu, ces dépendances probabilistes sont souvent très inattendues, très contre-intuitives même, surtout dans le cas d'un micro-état de deux micro-systèmes. Et dans ces cas contre-intuitifs c'est encore l'opération de génération G qui guide pour comprendre et accepter les dépendances qui, conceptuellement et factuellement, s'imposent à l'intérieur de la foncière absence de structuration interne d'espace-temps du résultat qualifiant final $(D_M^o(me_G), Mlp^o(me_G))$ ⁶⁷. Cependant que les actions épistémiques du concepteur-observateur humain, qui ont engrangé les données déposées dans ce résultat final, elles, se géométrisent a posteriori dans la structure d'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ lié à G , par l'effacement des aspects temporels de ces actions épistémiques du concepteur-observateur⁶⁸.

Si l'on attarde suffisamment l'attention sur cette évolution, on est comme envahi par une sorte de révélation non-formulée qui montre sans vraiment le dire par quelle sorte de miracles intégrant l'esprit des hommes dépasse et vainc les morcellements divers auxquels le condamne son enfermement matériel.

2.8. Remarque sur l'évolution d'un microétat

On peut se demander si, en respectant les contraintes imposées ici, il est possible de dire quelque chose sur l'évolution d'un microétat dans des conditions extérieures données⁶⁹. La réponse est positive.

Imaginons une opération G de génération à un moment t_0 d'un microétat me_G où t_0 est le moment que l'on assigne à la fin de l'opération, donc aussi au début de l'existence de l'exemplaire considéré du microétat me_G . Supposons aussi qu'au moment t_0 on ne démarre aucune opération de mesure sur cet exemplaire de l'état me_G , mais qu'on le laisse subsister pendant une durée $\Delta t = t - t_0$ dans des conditions extérieures, disons CE , que l'on aura pu, et choisi, de mettre en place (champs macroscopiques, obstacles). Rien, dans la démarche élaborée ici, ne s'oppose à ce que l'on considère que l'association de l'opération de génération G , avec les conditions extérieures CE et le passage de la durée $\Delta t = t - t_0$, constituent ensemble une nouvelle opération de génération $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ (F : fonction de) qui produit un nouveau microétat me_{G_t} que l'on peut étudier par des mesures, exactement de la même manière que me_G . En outre, rien ne s'oppose non plus à ce que la durée Δt soit choisie aussi petite ou grande qu'on veut. On peut donc étudier un ensemble de microétats correspondant à un ensemble d'opérations de génération $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ où G et CE restent les mêmes, cependant que Δt change de la façon suivante. L'on accomplit un ensemble de mesures qui permet de spécifier l'entier arbre de probabilité $T(G_{t_1}, V_M)$ avec $G_{t_1} = F(G, CE, \Delta t_1)$ et t_1 dans $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ très proche de t_0 ; puis on accomplit un ensemble de mesures avec $G_{t_2} = F(G, CE, \Delta t_2)$ et t_2 dans

⁶⁷ Notons que même si à la place des valeurs codantes numériques X_j qui interviennent implicitement dans $D_M^o(me_G)$, on restore les groupes $\{\mu_{kh}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques observables, l'absence de structuration interne d'espace-temps de la description subsiste.

⁶⁸ Ce fait est chargé de conséquences qui, une fois perçues dans le cas particulier des microétats, peuvent s'étendre à l'entière conceptualisation d'entités physiques. Notamment, le concept d'arbre de probabilité se transpose à la conceptualisation probabiliste en général, où il groupe des phénomènes aléatoires distincts mais qui introduisent tous une même entité-objet, en reliant les effets observables de ces phénomènes aléatoires dans un 'pattern' non trivial de méta-dépendances probabilistes qui dans la théorie classique des probabilités ne sont pas singularisées par des définitions qui leur soient spécifiques. Ce 'pattern' revient à caractériser explicitement un type de corrélations probabilistes qui, bien que particulier, est doté d'une grande importance pragmatique parce qu'il singularise ce qu'on peut regarder comme les conséquences probabilistes observables d'une genèse commune (MMS [2006, pp. 250-256]).

⁶⁹ Dans le formalisme quantique l'équation d'évolution de Schrödinger ne s'applique pas directement au microétat étudié, mais au descripteur mathématique $|\psi\rangle$ à l'aide duquel (avec les autres algorithmes aussi) l'on calcule l'ensemble des lois de probabilité qui, ici, a été symbolisé par $D_M(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, \forall (X \equiv V_X), V_X \in V_M$. Ces lois changent, en général, lorsque du temps passe. Dans les cas les plus 'simples' mais les plus importants d'un point de vue pragmatique le changement est commandé par un hamiltonien d'évolution, i.e. un descripteur de la grandeur mécanique 'énergie totale' qui est impliquée.

$\Delta t_2 = t_2 - t_0$ plus éloigné de t_0 ; et ainsi de suite, jusqu'à un arbre final correspondant à $G_{t_f} = F(G, CE, \Delta t_f)$ où $\Delta t_f = (t_f - t_0)$. De cette manière on peut constituer concernant le microétat de départ me_{G_0} , des connaissances qui sont équivalentes en principe à celles qu'offre une 'loi d'évolution du microétat me_{G_0} '. Ceci permet de parler de 'l'évolution du microétat me_G ' dans le contexte de la démarche présente. Lorsque cela sera fait nous écrirons $D(t)M(me_G) \equiv \{p(t)(G, X_j), \forall X \in V_M \text{ et } Mlp(t)(me_G)\}$ à la place de, respectivement, $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j), \forall X \in V_M \text{ et } Mlp^o(me_G)\}$.

Mais notons bien que :

Le concept d'évolution dont il est question ici ne fait que méta-qualifier en termes de 'changements' des qualifications dont chacune consiste exclusivement en codages $Cod(G, X)$ en termes de nombres X_j , de groupes de marques physique qui émergent mutuellement épars dans l'espace et le temps *de l'observateur-concepteur humain*. En ce sens, ce concept d'évolution ne concerne aucun 'dedans' spécifié, il ne concerne qu'un ensemble de données éparses à genèse définie, unifiante.

La possibilité de telles méta-qualifications temporelles a posteriori, ne change rien au fait que l'effet observable final proprement dit qui a été dénoté ' $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j), X \in V_M\}$ ', de l'action descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$ du concepteur-observateur humain, est dépourvu d'une fondation dotée d'une structure interne d'espace et de temps délimitée et définie : La scission reste inaltérée, entre représentations d'espace-temps des actions cognitives déployées par les concepteurs-observateurs afin de qualifier 'un microétat physique me_G ', et d'autre part l'organisation d'espace-temps propre aux contenus physiques observables qui sont posés avoir été produits par ces actions.

2.9. Le cas des microétats liés

Un microétat lié dans une microstructure nucléaire, atomique ou moléculaire, peut être considéré comme étant d'emblée disponible pour être qualifié car l'opération de sa génération est révolue, et elle s'est accomplie spontanément en vertu de lois physiques qui ne font pas intervenir une action délibérée de l'observateur-concepteur humain. La phase de mise à disposition du microétat par une opération de génération G , afin de pouvoir l'étudier *via* des qualifications, est donc économisée, cependant que les qualifications par mesures ne "consomment" en général pas le microsystème considéré : celui-ci perdure à l'intérieur de la microstructure où il est piégé, même s'il y reste dans un nouvel état.

Mais notons que l'opération G – révolue – est à considérer comme une opération de génération composée, G_{12} , car l'état lié 'stationnaire' qu'elle a installé est un état analogue à l'état libre d' 'interférence' du type 'Young' étudié dans 2.2.4.

En ces conditions l'opération de génération à accomplir se réduit à sélectionner de quelque manière une microstructure d'accueil préexistante où l'on suppose (sur la base de considérations construites et vérifiables) que préexiste un exemplaire du microétat que l'on veut étudier : face au microétat à étudier il s'agit là d'une méta-opération de génération $G^{(2)}$ d'une méta-entité-objet-d'étude. Cependant que l'opération de mesure est en général "indirecte", en ce sens qu'elle consiste en interactions entre le microétat à étudier et des éléments-sondes microscopiques (un photon ou un microsystème lourd en état connu) qui par la suite – eux – interagissent avec un appareil macroscopique et y produisent un

enregistrement dont la signification résulte via un codage convenable $Cod(G, X)$.

Ces spécifications sont notablement ‘classisantes’. Elles absorbent, cachent, effacent les caractéristiques et les difficultés radicalement non classiques auxquelles on est confronté dans le cas des microétats libres, et qu’il a fallu, ici, traiter.

Or la structure du formalisme de la mécanique quantique, on le verra, est fortement marquée par le cas particulier des états liés ; le cas des microétats libres s’y est développé par des extrapolations qui ont laissé en grande partie non explorées les spécificités des états libres. Cependant que ce sont précisément celles-ci qui expriment le caractère radicalement non-classique du concept général de description d’un microétat. Par contre, l’ensemble des résultats établis ici reste valide concernant le cas des microétats liés. Ceux-ci peuvent être regardés comme un effet de certaines particularisations opérationnelles-épistémologiques imposées à l’intérieur de la catégorie générale des états libres. Et c’est pour cette raison que nous avons privilégié un traitement conçu pour les états libres : La confrontation de ce traitement, avec les traitements formels de la mécanique quantique, suffira pour offrir tous les éléments nécessaires afin de tracer les grandes lignes d’une représentation mathématique intelligible concernant *tout* microétat, libre ou lié.

2.10. L’infra-[mécanique quantique] (IMQ)

Le processus de construction de descriptions qualitatives de microétats entrepris dans ce chapitre 2, est accompli. Le résultat sera appelé *l’infra-[mécanique quantique]* et il sera dénoté *IMQ*. Cette dénomination doit être comprise comme : ‘dans le substrat du formalisme mathématique de la mécanique quantique et partiellement infus dans ses algorithmes de manière implicite et cryptique’ (Les parenthèses droites, qui traitent l’expression ‘mécanique quantique’ comme un tout non dissocié, tentent d’indiquer que l’accent ne tombe nullement sur le mot ‘mécanique’).

L’*IMQ* s’est constituée comme une discipline à part entière développée indépendamment du formalisme quantique. C’est une discipline qualitative d’une nature inusuelle, une discipline épistémo-physique qui émane d’une supposition et d’un but corrélés posés à la base, et qui par la suite ont agi comme des contraintes permanentes :

- Le début de la conceptualisation à développer a été supposé être placé sur le niveau extrême, limite, de connaissance zéro, en ce qui concerne les spécificités du microétat particulier considéré ; seul le concept général et son nom ont été importés de la conceptualisation classique du réel physique microscopique.

- L’on a voulu mettre en évidence de *A* à *Z* et d’une manière structurée, sous quelles conditions et comment il est possible de construire des connaissances strictement premières concernant spécifiquement un microétat donné, bien que quelconque.

Cette démarche a mis au jour une forme descriptionnelle qui émerge primordialement statistique et transférée, en ce sens qu’elle consiste en marques physiques observables sur des enregistreurs d’appareils macroscopiques en conséquence d’‘interactions de mesure’, et que ces marques ne sont jamais toutes identiques pour toute interaction de mesure, elles manifestent irrépessiblement des dispersions statistiques.

En outre, les statistiques obtenues sont *relatives* – d’une manière inamovible – à trois éléments descriptionnels génétiques :

- l’opération de génération *G* du microétat me_G à étudier ;

- ce microétat produit me_G lui-même ;
 - la ‘vue’ (la structure de qualification) utilisée (qui en particulier peut être ‘mécanique’). Ces trois relativités sont rappelées dans la parenthèse oblique $/G, me_G, V_M/$ du symbole global $D_M^o/G, me_G, V_M/$ assigné à la forme descriptionnelle trouvée, où le symbole D_M^o – isolément – rappelle la description mécanique globale et explicite proprement dite du microétat étudié, $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$, mais qui est liée de manière organique aux actions cognitives humaines rappelées dans le signe $/G, me_G, V_M/$: Ces dernières ne constituent que la genèse conceptuelle-opérationnelle de la description proprement dite finale $D_M^o(me_G)$ ⁷⁰.

La notation $D_M^o/G, me_G, V_M/$ qui indique à la fois l’entière action descriptionnelle *et* de son résultat probabiliste, souligne le fait que – d’un point de vue épistémologique, et notamment pour l’intelligibilité – dans le cas des descriptions de microétats la genèse est aussi importante que le résultat final : En effet c’est au cours de cette genèse que la situation cognitive où se déroule l’action descriptionnelle, associée au but et à la supposition posés à la base, ont imposé avec une nécessité incontournable la décision méthodologique DM (2.2.3), et ont comporté un problème de codage des effets physiques observables des interactions de mesure, d’une nature nouvelle (2.3.2.2, 2.3.2.3), dont la maîtrise a soulevé des problèmes inusuels. Or les deux pas constructifs qui viennent d’être rappelés marquent le processus génétique et ses résultats de caractères foncièrement non classiques.

Au cours de l’élaboration d’une description de microétat s’est installée spontanément la remarquable scission $MS-B$ entre :

- d’une part l’action du concepteur-observateur humain qui – en dehors des deux moments critiques mentionnés plus haut – conçoit et procède selon sa conception classique irréprouvablement empreinte de structuration spatio-temporelle et causale ; et
 - d’autre part le produit global final $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ de la construction qui, lui, en conséquence des pas constructifs non classiques qui se sont imposés au cours de sa genèse, reste dépourvu d’une telle structuration, vide de toute délimitation d’« finie d’espace-temps et de causalité.

Cette scission attire l’attention, notamment, sur le caractère psycho-épistémologique des structurations d’espace-temps, qui disparaissent là où il n’y a encore aucune ‘explication’ *et même, peut-être, aucune possibilité d’expliquer* ; là où il n’y a que, exclusivement, des données premières que l’on peut créer et avec lesquelles, immédiatement, on ne peut qu’opérer.

Il s’ensuit que l’action constructive du concepteur-observateur humain peut être considérée séparément. Or cette action, elle, s’assemble dans une structure d’espace-temps clairement définie qui, par une élimination finale des traits temporels, se géométrise a posteriori en une figure arborescente – l’arbre de probabilité d’une opération de génération d’un microétat – doté d’une unité organique qui a été caractérisée d’une manière expli-

⁷⁰ Descartes a révolutionné la géométrie en introduisant un système de référence et une union organique relativisée entre figures géométriques et la genèse opératoire référée de celles-ci. La mécanique newtonienne a révolutionné la science en grande partie par le fait qu’elle a réussi – sous l’inspiration de l’approche de Descartes, via le calcul des fluxions – à lier organiquement une représentation génétique, symbolique et calculatoire, au mouvement physique des mobiles, cependant que la géométrie seule ne pouvait pas accomplir une telle union. L’analyse mathématique a élargi ensuite cette possibilité à un degré qui n’est plus limité que par la nécessité d’exprimer symboliquement le problème de représentation, dans des termes génétiques infinitésimaux, et de ‘donner’ des conditions intégrales aux limites. Partout où elle a pu être réalisée, l’union d’une classe de représentations finales stables, avec une représentation calculatoire explicite de la genèse des éléments de la classe, a constitué un progrès considérable. Dans ce travail se trouve illustrée la première source, dans l’esprit de l’auteur, d’une union de même nature pour la classe constituée par l’ensemble des processus de conceptualisation : cette union a été réalisée en toute généralité dans la Méthode de Conceptualisation Relativisée (MMS [2002a, 2002b, 2006]).

cite, détaillée et exhaustive. Cette unité arborescente pointe vers un concept de probabilité beaucoup, beaucoup plus complexe que celui qu'introduit un espace de probabilité au sens classique de Kolmogorov. Dans le travail exposé ici ce concept probabiliste non-classique n'est défini que de manière qualitative et pour le cas particulier qui implique un microétat. Mais d'ores et déjà le concept d'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ d'une opération de génération d'un microétat a produit des conséquences notables⁷¹. Sa structure interne :

- Elucide le contenu d'un concept de 'phénomène aléatoire-branche' (2.6.1.2) comportant un microétat me_G et une seule grandeur X , dont la généralisation fonde explicitement la notion classique d'un espace de probabilité de Kolmogorov.

- Met en évidence un type non-classique de dépendance probabiliste entre des événements produits par deux phénomènes aléatoires-branches distincts de l'arbre $T(G, V_M)$ (2.6.1.3) : cette sorte de dépendance probabiliste caractérise un certain sorte de tout de base, à savoir une paire (G, me_G) qui, via des opérations de qualification différentes, conduit à des descriptions différentes mais reliées.

Quant à l'arbre entier :

- Il équivaut à un méta-phénomène aléatoire lié à la paire (G, me_G) , qui fonde une méta-loi de probabilité $Mlp^o(G)$ caractéristique de cette paire (2.6.1.4 et 2.7) où se manifestent des méta-dépendances probabilistes non-classiques qui :

- * Apparaissent d'emblée comme liées au théorème d'incertitude de Heisenberg.

- * Frappent d'emblée comme étant reliées à la 'théorie des transformations de base' de Dirac.

- * Semblent pouvoir participer à une explication de qu'on appelle "intrication".

- Il indique la voie vers une logique quantique qui prenne clairement pour objet l'ensemble des événements d'un arbre de probabilité, organiquement unifié avec les probabilités correspondantes, définies en relation avec la structure de l'arbre (MMS 2.6.1.5) ([2006, pp. 151-262], [2002a, pp. 128-135], [2002b, pp. 206-291], [2014]).

- Il définit qualitativement le cadre conceptuel où s'inscrit le problème de non-localité soulevé par Bell (2.6.2.1) et suggère une voie de compréhension profonde, radicale, liée à l'absence de structure d'espace-temps de toute description proprement dite $D_M^o(me_G)$ d'un microétat me_G quelconque (MMS [2006])⁷².

- Il met en évidence un fondement physique-conceptuel sur lequel assier de manière contrôlée le choix d'une représentation mathématique des descriptions de microétats ; et corrélativement, il suggère l'intérêt de la définition d'un calcul avec des arbres de probabilité de microétats considérés globalement (2.6.2.2).

Ainsi l'infra-[mécanique quantique] pointe déjà vers les algorithmes mathématiques de la mécanique quantique. D'ores et déjà il émane de cette approche comme une force

⁷¹ L'énumération qui suit est à lier aux notes qui accompagnent les points 2.6.1.2, 2.6.1.3, 2.6.1.4, 2.6.1.5, 2.6.2.1, 2.6.2.2.

⁷² L'on aurait pu chercher d'emblée, à l'intérieur de IMQ , une certaine algèbre qualitative minimale d'espace-temps qui restreigne la "composabilité" de n opérations de génération G_1, G_2, \dots, G_n en une unique opération composée $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$, conformément aux principes qui – dans l'esprit du concepteur-observateur humain – régissent les actions physiques humaines et les représentations humaines des faits physiques impliqués. Et l'on aurait pu aussi confronter à cette algèbre minimale d'espace-temps les opérations physiques du concepteur-observateur humain et ses représentations mentales des faits physiques qui sont impliquées dans des mesures 'complètes' effectuées sur un microétat de deux ou plusieurs microsystèmes. Cela aurait probablement préparé dès la formulation de IMQ , à une analyse plus organisée, dans la deuxième partie de ce travail, de, notamment, la question de localité. Mais étant donné le degré de fundamentalité littéralement extrême de l'entier concept d'opération de génération d'un microétat, il semble préférable de se limiter dans IMQ à seulement signaler 'la scission $MS-B$ ' et de réserver tout éventuel ajout pour la fin de la deuxième partie de ce travail, où l'on aura déjà discerné aussi le modèle de microétat qui est impliqué dans le formalisme quantique, qui est à mettre en relation avec 'G' et avec les substrat physique des actes de mesure.

d'interaction explicative avec ces algorithmes mathématique.

Résumons l'organisation finale obtenue, dans une représentation plus achevée que celle de la figure 2, de l'arbre d'un arbre de probabilité d'une opération de génération G :

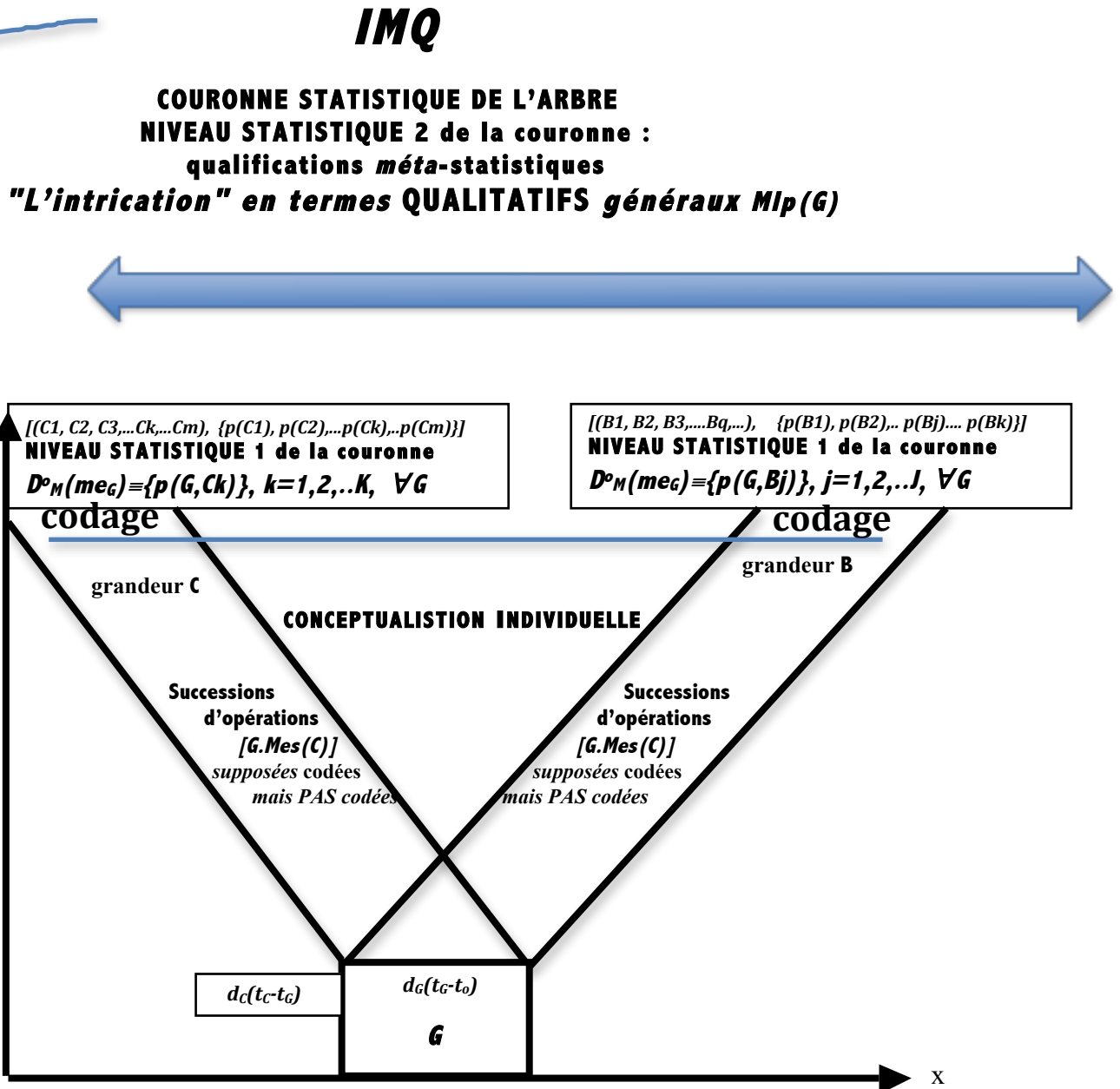


Fig. 4: Un arbre de probabilité $T[G, (V_M(B) \cup V_M(C))]$ plus détaillé de l'opération de génération G d'un microétat.

- Successions d'opérations $[G.Mes(C)]$, physiques, individuelles, actuelles, **SUPPOSÉES** codées C_k
- Successions d'opérations $[G.Mes(B)]$, physiques, individuelles, actuelles, **SUPPOSÉES** codées B_j
- Absence de modèle de microétat, absence de définition des modes de coder : ces dettes seront acquittées dans la 2^{ème} MQ.

Il nous semble notable qu'une démarche purement qualitative et qui a été réduite à l'utilisation de ressources aussi radicalement minimales que celles mises en œuvre dans ce chapitre 2, ait pu produire une structure descriptionnelle aussi définie et complexe.

L'infra-mécanique quantique est dotée d'un haut degré d'*universalité*. A la faveur du cas particulier des descriptions primordiales de microétats, en fait, elle met en évidence un entier type descriptionnel qui caractérise *toutes* les descriptions strictement premières, primordiales, d'une entité physique. C'est dire que, au-delà de la mécanique quantique, l'infra mécanique quantique pointe immédiatement vers une première strate universelle de la conceptualisation humaine d'entités physiques. Le caractère essentiel de cette phase primordiale de la conceptualisation est l'absence de tout modèle, et corrélativement, son rôle de socle factuel-conceptuel à toute modélisation subséquente.

L'infra-[mécanique quantique] – *IMQ* – pointe vers deux directions distinctes de conceptualisation subséquente.

D'une part *IMQ* elle pointe vers la Méthode (générale) de Conceptualisation Relativisée – *MCR* – déjà réalisée, qui, en tant que *méthode*, régit tous les processus de conceptualisation relativisée rationnelle et consensuelle, à partir de leur racine dans du 'réel' a-conceptuel (physique, factuel) – toujours existante – et jusqu'à la frontière entre rationalité et métaphysique humaines. Cette méthode englobe et change en profondeur – notamment – la logique et les probabilités, en les unissant⁷³. Elle peut être regardée comme un '*Calcul Génétique de Conceptualisation Relativisée et Consensuelle*' tout à fait général.

D'autre part *IMQ* constitue une zone conceptuelle du type de celle dont je signalais la nécessité dans la Préface à cet ouvrage. Une zone intermédiaire entre la conceptualisation classique et la conceptualisation nouvelle qui, bien qu'implicitement, néanmoins se trouve forcément incorporée aux algorithmes quantiques. À savoir, une zone de *conceptualisation de référence*, placée clairement en dehors de la mécanique par les contraintes d'absence de mathématisation et de stricte absence de modélisation, mais une Zone de conceptualisation structurée d'une manière forte et telle qu'elle assure une comparabilité dotatrice de sens avec, *spécifiquement*, le formalisme quantique.

Mais avant de considérer *IMQ* comme pleinement armée pour jouer son rôle, dans le chapitre qui suit nous allons la soumettre d'abord elle-même à un bref examen critique, en analysant les problèmes de signification qu'elle peut elle-même soulever dans l'esprit du lecteur, et la manière dont elle résiste à ces problèmes.

⁷³ Cette méthode révélée par l'explicitation épistémologique-opérationnelle-méthodologique cachée dans les descriptions de microétats, pourrait s'avérer d'une importance future qui dépasse de loin celle de toute théorie physique. C'est en ce sens que j'ai affirmé dans l'introduction à la première partie de ce livre, que la mécanique quantique a encrypté une révolution de l'épistémologie.

3

**Problèmes d'interprétation
qui émergent à l'intérieur de IMQ ,
leurs solutions,
et les conclusions qui s'en dégagent**

3.1. Problèmes sur la forme descriptionnelle $D_M/G, me_G, V_M/$ et réponses

Dans ce qui suit⁷⁴ on assistera à un processus remarquable.

On percevra en pleine lumière la genèse et la nature profonde de quelques problèmes fondamentaux d'interprétation que le formalisme mathématique de la mécanique quantique suscite depuis sa constitution : le problème de complétude, le problème ontologique, le sens exact du qualificatif 'essentiel' que l'on associe aux probabilités qui concernent des microétats et la question de la relation entre celles-ci et le postulat de déterminisme, la question de 'la coupure quantique-classique' et celle, corrélative, de la modélisation des microétats. Parce que le formalisme quantique s'est constitué sans une véritable compréhension de ses algorithmes mathématiques, et ensuite, pendant très longtemps, a constitué l'unique expression formelle disponible des connaissances concernant des microétats, les problèmes énumérés ont été perçus tout d'abord en relation inextricable avec ce formalisme mathématique, en tant que problèmes d'interprétation du formalisme. D'ailleurs cette optique perdue à ce jour.

Or il apparaîtra que face à la démarche purement qualitative développée ici, ces problèmes émergent de nouveau, indépendamment du formalisme quantique et pourtant dans des termes quasi identiques à ceux qui se sont imposés relativement à ce formalisme.

Il apparaîtra également que lorsque les problèmes énumérés sont rapportés à la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$ établie dans le chapitre 2, ces problèmes s'éclairent d'une façon contraignante que l'on pourrait qualifier de 'directe' en ce sens que la solution découle – sans intermédiaire – de la genèse de la forme $D_M^o/G, me_G, V_M/$.

Ainsi, dans le bref texte qui suit, sera dissoute pour la première fois une coalescence erronée, qui a trop duré, entre conceptualisation des 'microétats' et formalisme mathématique de la mécanique quantique.

⁷⁴ Certains passages de ce paragraphe interviennent aussi dans MMS [2006] mais à un niveau conceptuel doté d'une généralité non-restreinte, où le cas spécial des microétats se trouve incorporé en tant qu'un cas particulier parmi une foule d'autre cas de descriptions 'de base' transférées.

3.1.1. Le désigné du symbole $D_M^o/G, me_G, V_M/$ peut-il être regardé comme une “description du” microétat me_G ?

On vient de voir que la connaissance qu’il a été possible de construire concernant le comportement mécanique d’un microétat, ne consiste en général pas en descriptions individuelles. Elle consiste généralement en distributions de probabilité $p(G, X_j)$ concernant l’émergence des valeurs X_j de telle ou telle grandeur mécanique X . En outre, les manifestations observables que ces distributions concernent ne peuvent pas être regardées comme étant liées à des propriétés que le microétat étudié me_G engendré par l’opération de génération G aurait ‘possédées’ d’emblée, avant toute évolution de mesure, d’une façon déjà actuelle, réalisée, et réalisée pour lui isolément, de façon indépendante de tout acte d’observation. Ces lois de probabilité $\{p(X_j)\}$ n’offrent aucun renseignement concernant la façon d’être du microétat me_G lui-même, indépendamment de nos actions cognitives sur lui.

Il en est ainsi à tel point qu’il est même possible de reformuler la représentation construite plus haut, en termes strictement opérationnels-observationnels-prévisionnels : Une fois qu’une description $D_M^o/G, me_G, V_X/$ incluse dans l’ensemble $\{D_M^o/G, me_G, V_X/\}, \forall V_X \in V_M$ a été établie, si d’abord l’on opère de la façon dénotée G et ensuite l’on opère de la façon dénotée $Mes(X)$, on sait à l’avance qu’on a telle probabilité $p(G, X_j)$ d’observer tel groupe $\{\mu_k\}, k = 1, 2, \dots, m$ de manifestations (marques) physiques de l’appareil employé, codé X_j en termes conceptualisés. En ces conditions peut-on affirmer que les signifiés des différents symboles de ‘descriptions’ introduits dans 2.5.4 sont des descriptions du microétat me_G lui-même ?

La question a déjà été formulée dans 2.5.4 et la réponse affirmée a été positive. Mais on peut se sentir non satisfait et y revenir de la manière suivante qui conduit à l’extrême limite de la direction de pensée que cette question a tracée.

« Penser à la manière d’exister du microétat me_G lui-même n’est qu’une intrusion philosophique dans la pensée et le discours scientifique. L’ensemble des lois de probabilité $p(G, X_j)$ liées aux grandeurs mécaniques X et associées à une même opération de génération G donnée, constituent un invariant opérationnel-observationnel-prévisionnel relatif à G et aux processus de $Mes(X)$, et cet invariant est spécifique à G ; et cela suffit. On peut même, à la limite, se débarrasser en fin de parcours de toute trace de pensée hypothétique, comme on se débarrasse de tous les éléments de l’échafaudage quand la bâtisse est achevée. Même l’expression ‘le microétat correspondant à l’opération de génération G ’ peut être regardée comme un simple appui verbal qui est utile mais qu’il faut se garder de réifier. On se retrouve finalement devant une sorte de pont entre, d’une part des opérations physiques, et d’autre part des observations codées en termes de valeurs d’une grandeur mécanique et des prévisions probabilistes tirées de ces observations. Ce qu’on appelle ‘le microétat étudié’ ne fait que hanter cette construction comme un fantôme inutile. En tout cas, il ne s’agit nullement d’une description de ce microétat lui-même ».

Ce problème a plusieurs visages que je vais maintenant spécifier à tour de rôle. D’abord je caractériserai les aspects que, face $D_M^o/G, me_G, V_M/$, l’on peut désigner par les mêmes dénominations qui ont déjà été employées en relation avec le formalisme mathématique : le problème de complétude et le problème ontologique.

Une fois que ceci aura été accompli, je montrerai qu’à l’intérieur de la démarche développée ici la décision méthodologique d’affirmer la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$, élimine a priori ces deux problèmes. Cela permettra de percevoir clairement les réponses à – aussi – deux autres questions qui, face au formalisme quantique, ont soulevé un grand

nombre de débats, à savoir la question de la nature des probabilités quantiques, et la question d'une définition claire de 'la coupure quantique-classique'.

Au bout de ce cheminement, une solution globale à tous les questionnements abordés, apparaîtra avec évidence :

Dans tous les cas examinés, uniformément, il s'agit d'incompréhensions engendrées par le fait que la genèse qui conduit à une connaissance probabiliste $D_M^o \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ et qui est rappelée dans le symbole $D_M^o/G, me_G, V_M/$, est ignorée.

En conséquence de cela – sans s'en rendre compte – l'on reste aveugle face aux exigences spécifiques imposées par les conditions cognitives qui dominent la construction de connaissances concernant des microétats, et l'on remplit ce vide en y déversant des exigences de conceptualisation classique, qui tout simplement n'ont pas de *sens* face à des qualifications liées à des microétats.

L'on fabrique ainsi des questions illusoire dans lesquelles on s'enlise.

3.1.2. Le problème de 'complétude' de la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$

Le débat sur la 'complétude' du formalisme quantique – pas sur celle de la forme descriptionnelle qualitative $D_M^o/G, me_G, V_M/$ – a conduit à des *théorèmes d'impossibilité* dont les plus importants sont le théorème de von Neumann affirmant l'impossibilité de paramètres cachés compatibles avec le formalisme quantique (von Neumann [1955]) et le théorème de Wigner affirmant l'impossibilité de définir une probabilité conjointe de position et de quantité de mouvement qui soit compatible avec le formalisme quantique (Wigner [1963]). Ces théorèmes semblaient trancher ce qu'on avait dénommé le problème d'incomplétude de la mécanique quantique, sans pour autant le faire comprendre⁷⁵. En fait, l'un comme l'autre de ces deux théorèmes faisaient usage, dans la démonstration, du formalisme quantique lui-même, ce qui est circulaire. Finalement ces deux théorèmes ont été invalidés (MMS [1964, 1966, 1977, 1979]). Mais ces invalidations ne font que montrer des vices de traitement du problème, elles n'éliminent nullement le problème considéré, celui d'une représentation plus 'complète' des microsystèmes 'eux-mêmes'.

Or le problème de 'complétude' renaît également face à la forme descriptionnelle qualitative $D_M^o/G, me_G, V_M/$ qui a émergé à l'extérieur du formalisme quantique ainsi que de toute autre formalisation préexistante, et cela suggère que les racines du problème de complétude se trouvent sous le formalisme quantique, dans la situation cognitive même qui est impliquée. En effet on se dit :

« Il est clair que si l'on veut se mettre en possession d'une qualification du microétat me_G en termes d'une valeur X_j d'une grandeur mécanique X redéfinie pour des microétats, il faut réaliser une succession $[G.Mes(X)]$ où une réalisation de G soit immédiatement suivie d'un acte $Mes(X)$ de mesure de X effectué sur l'exemplaire de me_G engendré par cette réalisation de G . Mais si, afin de vérifier qu'on a bien procédé, l'on répète la réalisation d'une succession $[G.Mes(X)]$, en général on ne retrouve plus la même valeur X de la grandeur X . Ceci est un fait d'expérience indéniable qu'on a exprimé en disant que 'la situation est statistique'. Donc afin d'avoir une chance d'accéder à une caractérisation stable de me_G

⁷⁵ Les conclusions y étaient exprimées en termes absolus et définitifs, comme s'il était concevable de déduire une impossibilité absolue et définitive ! (A l'intérieur de quel système formalisé ? Un système qui, dès tel moment donné, établirait *tout* ce qui est possible, à jamais ?). Ce penchant d'affirmer une validité absolue de conclusions déductives est le témoin muet et masqué d'une méprise encore très répandue concernant l'absence de limites de la rationalité.

en termes de valeurs X_j de X (alors nécessairement probabiliste), on doit réaliser un très grand nombre de répétitions de la succession $[G.Mes(X)]$. Or après l'enregistrement d'une valeur X_j de X , l'exemplaire du microétat me_G qui avait été mis en jeu par la réalisation de G , n'existe plus ; il a transmuté en un autre microétat. Donc le microétat étudié doit être recréé pour chaque nouvel acte de mesure. Et chaque séquence $[G.Mes(X)]$ brise la continuité du processus global de constitution de la connaissance que l'on acquiert sur le microétat me_G . Si je travaillais avec un dé macroscopique je pourrais réutiliser indéfiniment le même dé, sans avoir à le recréer à chaque fois, et le processus de constitution d'une connaissance probabiliste ne serait pas brisé ainsi, ce serait clairement un tout, en ce sens que je pourrais concevoir que la dispersion statistique n'est due qu'à la non identité des jets, d'ailleurs permise à l'avance. Tandis que dans le cas d'un microétat il apparaît un problème qui est grave : Comment peut-on être certain que l'opération de génération G recrée vraiment le même microétat à chaque fois qu'elle est réalisée, comme on l'a admis – peut-être trop vite – par la décision méthodologique de poser une relation de un-à-un, $G \leftrightarrow me_G$? C'est plutôt du contraire de ce que pose cette relation qu'on se sent incliné à être certain. En effet l'opération G est définie par des paramètres macroscopiques dont il est certainement impossible de dominer tous les aspects microscopiques. Donc ce qui selon les paramètres macroscopiques semble être un ensemble de répétitions de la même opération G , en fait, au niveau microscopique, est sans aucun doute tout un ensemble d'opérations de génération mutuellement différentes, qui engendrent tout un ensemble de microétats eux aussi mutuellement différents. En plus, un processus de $Mes(X)$ est lui aussi défini seulement à l'aide de paramètres macroscopiques en dessous desquels se cache sans doute tout un ensemble de réalisations microscopiques différentes de ce processus. Dans ces conditions, la description des microétats que nous avons élaborée est certainement incomplète car elle escamote les différences qui existent entre les exemplaires de microétats engendrés par les répétitions d'une opération de génération G , comme elle escamote également les différences qui existent entre les réalisations distinctes de l'opération G elle-même, et celles qui existent entre les réalisations distinctes d'une $Mes(X)$. On affirme des répétitions 'identiques' des séquences $[G.Mes(X)]$, mais en fait celles-ci sont fluctuantes dans tous leurs éléments, dans l'élément G , dans l'effet me_G de G , et dans l'acte de $Mes(X)$. Nous avons partout indiqué fallacieusement par un symbole invariant, tout un ensemble caché d'entités physiques mutuellement distinctes. Nous aurions dû introduire explicitement tout un ensemble d'opérations de génération différentes au niveau microscopique mais correspondant toutes à un même groupement de paramètres macroscopiques, et étiqueter cela par le symbole G . Et à l'intérieur de cet ensemble il aurait fallu symboliser les différences, les dénoter. Et de même pour me_G et pour $Mes(X)$. Ce n'est que de cette façon qu'on aurait pu espérer de construire une description véritablement complète des microétats »⁷⁶.

Toutefois, parvenus en ce point on peut se troubler car on peut se dire également :

« Mais même de cette façon, ce qu'on obtiendrait finalement ne serait toujours pas une description des microétats eux-mêmes ! Car malgré toutes les précautions conceptuelles et notationnelles mentionnées, nous n'apprenons finalement toujours rien d'individuellement défini concernant un microétat donné, ni de défini concernant ce microétat isolément ; strictement rien. Tout ce que nous apprendrions concernerait toujours seulement les manifestations observables produites par des processus de mesure. Car lors d'une succession $[G.Mes(X)]$ donnée nous ne saurons pas comment choisir factuellement, dans

⁷⁶ Notons qu'un grand nombre de spécialistes de la mécanique quantique parlent effectivement en termes d'ensembles', ce qui exprime indirectement le fait qu'à la base de leurs vues ils placent la conceptualisation ensembliste, qui est éminemment classique.

les ensembles microscopiques que nous venons de concevoir, la variante microscopique de l'opération de génération d'un microétat qui s'est réalisé effectivement, ni la variante microscopique de microétat qui s'est réalisée, ni la variante microscopique d'un acte de mesure $Mes(X)$ qui s'est réalisée. L'on aura donc alourdi notre façon de dire et de penser, sans avoir enrichi d'un seul iota nos connaissances établies factuellement.

Non, il n'y a rien à faire. D'une part, toute la façon de parler et de noter qui a été développée – avec des singuliers partout, 'l'opération de génération G ', 'le' microétat 'correspondant', 'le' processus de $Mes(X)$ – induit tout simplement en erreur. Cette façon de parler masque l'incomplétude générale de l'approche. Et d'autre part, si l'on supprime ce masque, si à la place de ces singuliers qui faussent on introduit partout les ensembles microscopiques qui s'imposent à la raison, on reste bloqué dans une impossibilité de choix factuel en conséquence de laquelle toutes les distinctions imaginées ne servent à rien. Nous sommes condamnés à l'ignorance. Dans *ce* sens-là, face à nos possibilités de connaissance établies par des faits observables, la description accomplie est effectivement 'complète'.

Nous sommes piégé dans la même difficulté que celle qui nous nargue dans le cas du formalisme quantique. Et la complétude qu'affirme l'orthodoxie concernant le formalisme mathématique de la mécanique quantique est bien vraie, puisqu'elle se reproduit au niveau de la démarche sous-jacente pratiquée ici. C'est cette conclusion qui s'impose. Même si cette complétude n'est pas démontrable déductivement, elle est néanmoins vraie.

Mais cette sorte de 'complétude' est une prison insupportable ! Il faut absolument trouver le moyen d'en sortir et d'accomplir une représentation vraiment complète des microétats ».

Voilà l'essence du discours qui naît dans les esprits, et comment l'assertion de 'complétude' de la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$ s'érigerait comme un mur à la fois inacceptable et indestructible, exactement comme c'est le cas pour le formalisme quantique.

Ces questions d'identité, ou pas, lors des répétitions d'une succession $[G.Mes(X)]$, sont très insidieuses. D'une part elles incluent un noyau dur qu'on ne peut pas ignorer. Elles touchent aux limites de la pensée. L'effet du choc est viscéral. Ce noyau dur est doté d'une grande force de fascination car on supporte mal de véritablement sentir que la pensée se heurte à une limite de ses capacités. Non pas se le dire ou l'entendre dire, mais le sentir. Dans le même temps cette question introduit une foule de glissements que l'on sent être fallacieux. Cela aussi on le sent de façon intime. Et cela aussi inquiète, tout en augmentant la fascination.

C'est ainsi que 'le problème de complétude' qui a tant hanté le formalisme de la mécanique quantique se manifeste aussi, en effet, face à la forme descriptionnelle qualitative $D_M^o/G, me_G, V_M/$. Et face à celle-ci, il acquiert même une texture plus concentrée et une intensité psycho-intellectuelle plus grande que face au formalisme quantique, parce que, en l'absence d'un formalisme mathématique le regard n'a pas où se disperser en incompréhensions et suspicions adjacentes qui occupent et détendent.

D'autre part, cette fois le problème de complétude apparaît face à une genèse explicite que l'on peut retracer, et cela l'expose à un contrôle critique.

Mais suspendons la progression vers ce contrôle, le temps d'énoncer aussi le problème ontologique.

3.1.3. *Le problème du contenu ‘ontologique’ du concept de microétat*

On peut suivre aussi un autre cheminement qui est intimement relié au précédent mais où l’accent tombe plutôt sur la question ‘ontologique’ : comment est un microétat lui-même, vraiment, indépendamment de toute opération cognitive humaine accomplie sur lui ? Cependant que cette fois la question de complétude de notre représentation reste en retrait. Ce cheminement, lui aussi, a émergé d’abord relativement au formalisme quantique. Mais de nouveau on le retrouve relativement à la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$. On se dit :

« Essayons malgré tout d’admettre toutes les ‘identités’ affirmées par décision méthodologique. Mais alors pourquoi un microétat, toujours le même, identiquement reproduit par des opérations de génération identiques et soumis à chaque fois à une évolution de $Mes(X)$ qui est toujours la même, d’une seule et même observable X , conduirait-il en général à des valeurs X_j différentes, au lieu d’engendrer toujours la même valeur ? Ne serait-ce pas parce qu’un microétat est une entité dont la nature est essentiellement aléatoire ? ».

Mais aussitôt on réagit :

« Que peut vouloir dire, exactement, ‘une nature essentiellement aléatoire’ d’un microétat ? Et pourquoi, dans les conditions considérées, un microétat aurait-il une nature plus aléatoire qu’une opération de génération G ou qu’un acte de mesure $Mes(X)$? Ne s’agit-il pas en fait exclusivement de l’incapacité opératoire, de notre part à nous, de reproduire, à partir de contraintes macroscopiques, exactement la même opération de génération, le même état microscopique, et aussi, exactement le même acte de mesure ? Car l’idée qu’un microétat serait de par lui-même ‘essentiellement’ aléatoire – ou alors peut-être plutôt intrinsèquement aléatoire ? Ou bien aléatoire en soi ? – paraît vraiment très obscure. En outre, s’il ne s’agit en effet que d’une incapacité opératoire humaine, qu’est-ce qui me donne le droit de retourner une telle incapacité de l’homme, en affirmation ontologique de caractères qui seraient – eux – essentiellement aléatoires, c’est à dire aléatoires dans les faits même ? Et d’ailleurs qu’est-ce que cela veut dire ‘la même opération G ’ ou ‘le même microétat’ ou ‘le même processus de mesure’ ? ‘Même’, de quel point de vue ? Dans l’absolu ? Mais n’est-ce pas là un non-sens ? ».

Les significations des mots glissent et se tortillent comme des anguilles et elles échappent à l’entendement. La pensée rebondit indéfiniment contre un mur insaisissable qui l’use, la déchire et l’enlise. Alors on renonce à penser. On se tait jusque dans l’âme et on attend, avec une sorte de foi impuissante.

Voilà en quoi consiste ‘le problème ontologique’ que suscite la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$.

Ce même problème – tel quel – émerge également face au concept de microétat employé dans les exposés du formalisme mathématique de la mécanique quantique.

On voit déjà en quel sens la question de complétude et la question ontologique sont distinctes mais reliées : la question de complétude ne concerne directement que notre représentation des microétats, cependant que la question ontologique ne concerne directement que la façon d’être assignée aux microétats eux-mêmes.

3.1.4. *Le piège abyssal du réalisme naïf*

Mais ces deux questions, l'une comme l'autre, présupposent que cela posséderait un sens définissable de vouloir "savoir comment les microétats sont vraiment en eux-mêmes, indépendamment de toute action cognitive humaine, d'une manière absolue".

Elles présupposent également toutes deux, bien que de manière plus vague, que cela posséderait un sens spécifiable de vouloir savoir d'emblée cela, avant de se lancer dans le processus de construction exposée ici.

Enfin, elles présupposent aussi que cela posséderait un sens que de vouloir réaliser une sorte de saturation absolue de la description d'une entité-objet ; d'arriver à savoir 'tout' ce qui concerne cette entité-objet.

Il est remarquable quels épais brouillards émanent des inerties de la pensée rationnelles et cachent les frontières entre le domaine de la rationalité et celui de la métaphysique. Lorsqu'à la faveur de ces brouillards on passe cette frontière et l'on perçoit les paysages qui s'y déploient, on se sent tout à coup perdu. Saisi d'angoisse l'on voudrait avec urgence retourner dans les pays de la rationalité mais on ne sait plus par quelle voie.

Voilà l'essence multiple, floue et obscure des deux problèmes liés de complétude et ontologique. Dans *IMQ* cette essence agit distillée, rendue indépendante de la formalisation mathématique des descriptions de microétats, et les présuppositions desquelles elle émane apparaissent sans voile. Car ces problèmes, qui ont d'abord été perçus face au formalisme mathématique de la mécanique quantique, émanent en fait d'en dessous de ce formalisme, et le formalisme les obscurcit et les déforme. Cependant que la forme descriptive $D_M^o/G, me_G, V_M/$ – avec sa genèse – en met en évidence la source profonde qui peut s'énoncer ainsi :

Être et description se confondent dans l'esprit en un seul absolu dont on présuppose qu'on peut l'englober entièrement dans la connaissance du réel 'tel qu'il est en lui-même'.

Le concept de description est alors illusoirement exonéré du tribut inévitable qu'il doit payer à des opérations de qualification, qui seules peuvent engendrer du connu, mais en le séparant de l'être-'en-soi', radicalement inconnaissable par les voies de la conceptualisation rationnelle.

Les trompe-l'œil conceptuels coagulés dans cet absolu impossible sont projetés sur l'horizon de la connaissance où ils rejoignent le trompe-l'œil du 'vrai-en-soi'. Ces différentes variantes en trompe-l'œil de notre refus viscéral de réaliser que tout connu – qui est description, qui comporte du qualifié – est confiné à l'intérieur du domaine du relativisé aux qualifications accomplies, s'agitent vainement dans un tourbillon éternel de néants de sens, comme dans un enfer de Dante des concepts qui ont péché.

3.1.5. *Retour sur la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$*

Par les questions de complétude et ontologique qu'elle soulève irrésistiblement, la description $D_M^o/G, me_G, V_M/$ d'un microétat pousse la pensée naturelle à un corps à corps avec l'affirmation kantienne métaphysique de l'impossibilité de connaître le-réel-physique-en-soi. Or les questionnements de complétude et ontologique sont fondés tous les deux sur la mise en doute de la pertinence de la relation de un-à-un dénotée $G \leftrightarrow me_G$.

D'autre part, on l'a fortement souligné, seule l'acceptation de la relation $G \leftrightarrow me_G$ – par pure méthode, épurée de toute coalescence avec des questions de vérité factuelle – a permis de continuer de manière maximale simple et géodésique la construction de la forme qualitative $D_M^o/G, me_G, V_M/$ de la description d'un microétat, en ne partant plus exclusivement de la conceptualisation classique en termes d' 'objets' à contour délimité et à interactions causales, mais en se fondant sur le résultat d'interactions factuelles avec du réel physique aconceptuel. En outre, la démarche symbolisée $D_M^o/G, me_G, V_M/$, avec son résultat final et global observable $D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$, permettent à un œil averti d'y discerner un équivalent intégré et à genèse épistémologique explicite, des descriptions de microétats offertes par les algorithmes quantiques, qui ont donné des preuves de leur efficacité : *IMQ* et le formalisme quantique – de commun accord et à l'unisson avec l'histoire de la physique – clament que les toutes premières descriptions efficaces de microétats sont des descriptions transférées primordiale qui émergent statistiques. Cependant que $G \leftrightarrow me_G$ absorbe la statistique primordiale de ces descriptions dans une manière de dire et de raisonner qui fait une paix provisoire avec une démarche finalisée, délibérée, résolument constructive et opérationnelle, maximale simple, et au cours de laquelle la factualité et les problèmes qu'elle soulève sont épurés de toute hypothèse qui n'est imposée ni par les contraintes locales qui agissent sur la construction, ni par le but final.

En ces conditions que faut-il finalement penser de la relation $G \leftrightarrow me_G$?

Il me semble que la question, très évasive, peut être néanmoins tranchée définitivement par le dialogue imaginé qui suit⁷⁷.

L (le lecteur). Malgré tout, je me demande si vraiment on est *obligé* de poser la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$. Il existe peut-être une autre solution.

M (moi). Tout d'abord, rien n'est obligatoire dans une construction. Ceci est concevable, cela ne l'est pas. Point. En l'occurrence, si l'on imaginait au départ que l'opération G peut produire tantôt une chose et tantôt une autre, on aurait des difficultés pour parler de ce que G produit. Et aussi pour y réfléchir, ce qui est beaucoup plus grave. Alors pour quelle raison devrait-on éviter d'introduire une organisation de langage-et-concepts qui évite ces difficultés ?

L. Pour ne prendre aucun risque de découvrir plus tard que l'on a affirmé quelque chose de faux.

M. Faux ? Mais face à quoi ? La question est là : face à quoi ? Forcément face à quelque examen futur pour qualifier le microétat me_G , n'est-ce pas ? Or ici, il ne s'agit pas d'une relation entre le microétat me_G et les résultats d'examens futurs pour le qualifier. Il s'agit exclusivement de la relation entre l'opération de génération G et son effet me_G . Lorsqu'on glisse subrepticement d'un problème à un autre, on étrangle l'entendement dans un nœud.

L. D'accord, mais ce qu'on admet maintenant peut entraîner des effets concernant ce qui se manifesterait plus tard.

M. Magnifique ! Finalement je trouve que cet échange est le plus utile que l'on ait pu concevoir afin de rendre intuitive la relation $G \leftrightarrow me_G$. Vous êtes en train de m'offrir l'occasion d'étaler sans un pli devant les yeux publics, l'un de ces glissements incontrôlés qui secrètent des faux absolus et faux problèmes où l'entendement reste piégé comme une mouche dans une toile d'araignée.

⁷⁷ Cf. aussi la définition *D4* dans l'exposé du noyau de la méthode de conceptualisation relativisée, dans [Mugur-Schächter, 2006, p. 64] : là ce même dialogue intervient à un niveau *général*, non lié au cas particulier des microétats.

Donc exprimons-nous jusqu'au bout : vous craignez que le fait de poser d'emblée une relation de un-à-un entre l'opération de génération G et le microétat me_G qu'elle produit, puisse avoir des implications qui se révéleront fausses face aux résultats de quelque examen futur de me_G . Et cette crainte vous fait préférer de laisser ouverte la possibilité que cette relation ne soit pas de un-à-un, plutôt que de l'exclure prématurément par une assertion dictatoriale qui pourrait se trouver démentie par la suite. C'est bien cela ?

L. Tout à fait cela.

M. Alors faisons une expérience de pensée. Imaginons un examen dénoté $Ex.1$ du microétat me_G qui serait tel que, chaque fois que l'on réalise G et l'on soumet l'effet me_G de G à l'examen $Ex.1$, l'on obtienne invariablement le même résultat. Que diriez-vous dans ce cas concernant la relation entre G et me_G ? Qu'il est désormais démontré qu'il s'agit en effet d'une relation de un-à-un ? Vous pouvez répondre « oui », vous pouvez répondre « non », ou bien vous pouvez répondre « pas encore démontré ». Cela épuise les possibilités.

Supposons d'abord que vous répondiez « oui ». En ce cas, imaginons maintenant un autre examen dénoté $Ex.2$ qui est différent de $Ex.1$ et qui est tel que lorsqu'on répète G plusieurs fois et à qu'à chaque fois on soumet l'effet me_G obtenu, à l'examen $Ex.2$, l'on constate tantôt un résultat, tantôt un autre, donc en fin de compte tout un ensemble de résultats différents. Cela vous paraît-il impossible, étant donné que l'effet du premier examen $Ex.1$ s'est avéré être stable ?

L. Non, pas nécessairement, en effet... On peut imaginer par exemple que l'opération G est définie de façon à produire à chaque fois une bille sphérique de dimensions données, mais dont on laisse la matière varier d'une réalisation de G à une autre. Alors en répétant G et en soumettant à chaque fois le produit de G à un examen de forme, on obtiendrait un ensemble de résultats identiques, cependant qu'avec un examen de poids on obtiendrait un ensemble de résultats dispersés... Si l'on n'essaie pas de restreindre G à l'avance convenablement, on ne peut pas éliminer la possibilité que vous venez d'envisager.

M. Restreindre G à l'avance pour que tout examen futur, disons $Ex.j$, $j = 1, 2, \dots$ conduise à un ensemble de résultats identiques si l'on répète des séquences $[G.Ex.j]$? Cela avec un j quelconque, de l'ensemble d'examens quelconques considéré ? Cela vous paraît-il concevable ? Il me semble que vous ne distinguez pas clairement entre une restriction qui pèserait sur l'opération de génération G , et une restriction concernant les examens futurs que l'on pourrait accomplir *sur les résultats de G* . Mais progressons systématiquement. Donc vous admettez que lorsqu'on répète l'opération de génération G , telle qu'elle a été spécifiée de par sa définition, le microétat qui en résulte pourrait manifester à chaque fois des résultats identiques lorsqu'il est soumis à l'examen $Ex.1$, cependant que l'examen $Ex.2$, lui, produirait des résultats non-identiques. Que diriez-vous en ce cas concernant la relation entre G et me_G ? Qu'il est désormais démontré qu'elle n'est pas une relation un-à-un ?...

J'ai l'impression que vous hésitez ? Pourquoi ?

L. Parce que je commence à concevoir qu'il se pourrait que le comportement du microétat produit par G , face à des examens futurs sur ce résultat, ne puisse jamais imposer une conclusion quant à la relation entre G et le microétat produit par G .

M. Donc finalement nous sommes en train de converger. Néanmoins allons jusqu'au bout systématiquement. Examinons maintenant la troisième réponse possible de votre part. Supposons donc qu'à ma première question concernant l'examen $Ex.1$ vous ayez répondu « non, cela ne démontre pas encore que la relation entre G et son effet dénoté me_G soit une relation de un-à-un ». Dans ce cas, je vous demanderais : Quand admettez-vous qu'il est démontré que la relation entre l'opération G de génération du microétat et le microétat que G produit, est une relation de un-à-un ? Quand vous aurez vérifié l'identité des résultats pour tous les examens futurs ? Mais que veut dire 'tous' ici ? 'Tous' les examens que l'on

connaît ? Ou bien tous ceux que l'on connaît plus ceux que l'on imaginera jusqu'à la fin des temps ? Sur quelle base pourrait-on affirmer quoi que ce soit concernant cette 'totalité' ouverte, indéfinie d'effets d'examen futurs ?...

Je prends la liberté de considérer que le dialogue imaginaire qui précède a valeur d'une preuve ; qu'il a pu imposer désormais la nécessité, en général, de décisions méthodologiques lorsqu'on entreprend une construction ; et aussi, en l'occurrence, l'utilité majeure, et même la nécessité de la décision méthodologique de poser la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$, puisqu'il apparaît que toute autre voie qui au départ aurait semblé plus 'vraie', en fait n'aurait pas apporté les connaissances vraies et définitives que l'on souhaitait. La justification cette relation – pas sa *preuve* qui face à un choix méthodologique n'a aucun sens, mais sa justification – ne pouvait venir qu'a posteriori, consistant en ses effets. Or cette justification est désormais acquise, car elle a permis d'achever la construction de l'infra-mécanique quantique, cependant que la nier serait dépourvu de toute conséquence définie et utile.

Cette justification étant désormais été mise en évidence, le moment est propice pour noter cet autre fait remarquable que :

La relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ élimine a priori les deux problèmes reliés de la complétude de la forme descriptionnelle $D_M/G, me_G, V_M/$ et du contenu ontologique du concept de microétat.

Ce qui a fait obstacle à la compréhension de la situation conceptuelle lorsque les problèmes de complétude et ontologique ont été soulevés en relation avec la formalisme mathématique de la mécanique quantique, a été l'idée fautive induite par la présence du formalisme mathématique, qu'il s'agirait de questions de nature formelle, à résoudre par des démonstrations mathématiques de théorèmes. Cependant que, lorsqu'ils sont rapportés à la genèse comportée par la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$ dans laquelle la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ qui y joue un rôle fondamental de nature clairement et purement méthodologique, ces célèbres et persistantes questions de la complétude descriptionnelle et du contenu ontologique d'un 'microétat', qui ont fait couler tant d'encre, simplement s'évanouissent.

Cela montre que ces deux problèmes célèbres, eux aussi, impliquent des traits de nature méthodologique.

Ainsi l'on arrive enfin à véritablement toucher le point-clé, le point critique qui agit à cet endroit du processus de conceptualisation des microétats :

Lorsqu'on tient compte de la genèse de la forme descriptionnelle qualitative $D_M^o/G, me_G, V_M/$, lorsqu'on s'imprègne du néant conceptuel duquel la forme $D_M^o/G, me_G, V_M/$ a pu émerger via des contraintes cognitives et méthodologiques qu'elle a incorporées pas à pas, on comprend enfin intuitivement qu'avant les descriptions transférées des microétats – par construction – il n'y a rien en tant que connaissances sur des microétats spécifiés. On heurte ainsi le sol-limite en dessous duquel aucun connu spécifique d'un microétat donné ne peut trouver place.

Seule une construction super-posée reste concevable : il y a là un inévitable renversement de sens de progression le long de la verticale sur laquelle s'inscrit l'ordre des phases de conceptualisation : cette conclusion s'associe au caractère sur lequel attire l'attention la figure 1 et son commentaire.

L'on réalise ainsi que :

Un processus d'élaboration de connaissances est inéluctablement marqué par le choix d'une origine sur la verticale des conceptualisations et par l'ordre qui en découle dans l'action épistémologique⁷⁸.

En certains cas les conséquences d'un tel choix peuvent dominer tout autre caractère. Notamment elles peuvent évaporer les prudences logiques comme dépourvues à la fois de sens, d'utilité et – radicalement – de toute possibilité de réponse : C'est le cas pour la question inertielle « comment sait-on que les microétats produits par les différentes réalisations d'une opération de génération G donnée, sont tous les 'mêmes', mutuellement 'identiques' ? », et donc aussi pour la *vérité* de la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$.

La distinction radicale entre vérité factuelle, et décision méthodologique, achève de s'installer.

3.1.6. *Probabilités primordiales versus probabilités classiques*⁷⁹

Éclaircissons cette question d'origine et d'ordre sur la verticale des phases de conceptualisation, ces qualifications de 'haut et bas', d'au-dessus' et 'au-dessous' d'une phase donnée de conceptualisation. Car de telles qualifications peuvent paraître obscures et très étranges.

Dans le cas de *IMQ* le but posé était d'identifier et traiter toutes les contraintes factuelles et épistémologiques qu'imposent – spécifiquement – les conditions cognitives comportées par la conceptualisation des microétats. Face à ce but, le choix de placer l'origine du processus de conceptualisation sur le niveau de connaissance zéro concernant tel ou tel microétat particulier, était incontournable, car les contraintes qu'imposent les conditions cognitives comportées par la conceptualisation d'une entité physique, ne peuvent pas être inventées de quelque façon sécurisée, elles ne peuvent qu'être constatées. Or ceci s'est avéré impossible en partant de la conceptualisation classique qui est fondée sur la notion d'objets' au sens courant (MMS [2014])⁸⁰. En effet, ces 'objets' classiques sont quasi généralement conçus comme dotés 'vraiment' de 'propriétés' propres – si l'on peut dire – et notamment, comme étant délimités spatialement par des contours intrinsèques et absolus

⁷⁸ Le passage des concepts antiques de "vitesse" et de "position" en tant que qualifications absolues, au concepts modernes correspondants qui se sont révélés comme essentiellement relatifs, a été de la même nature, en ce sens que cette sorte de passage distingue entre ce qui dépend inéluctablement d'éléments de référence, et ce qui n'en dépend pas (ou, plutôt, ne dépend pas de telle ou telle classe d'éléments de référence).

⁷⁹ J'ai montré ailleurs que le concept de 'probabilité' factuelle – comme aussi le concept d'objet' au sens courant – est un concept foncièrement classique (MMS [2014]) parce qu'il implique l'existence d'une "forme", de contours qui délimitent. L'utiliser dans le cadre d'une description purement transférée, et avant d'avoir explicitement élaboré un mode normé de passage d'une description transférée donnée, à une modélisation correspondante, revient à un mélange non contrôlé de niveaux descriptionnels essentiellement distincts. Plus tôt ou plus tard, mais toujours, de tels mélanges engendrent des paradoxes et des faux problèmes qui polluent et finalement bloquent le développement des processus de construction de connaissances. Ce problème est rappelé dans la deuxième partie de ce travail. Mais il n'est traité que dans MMS [2014].

⁸⁰ Husserl a montré dans sa *Phénoménologie*, « mais un peu tard », que – très paradoxalement – les 'objets' classiques qui sont communément considérés comme le paradigme de matérialité, sont en fait des construits abstraits, des modèles tirés des résultats d'interactions des appareils sensoriels humains, avec du réel physique, via ce que l'on peut appeler des descriptions transférées macroscopiques produisant des enregistrements qui s'accompagnent de qualia. Mais ce n'est pas de ces descriptions transférées que part la conceptualisation classique explicite. Elle part des 'objets' préconstruits de façon implicite, souvent réflexe ou même câblée génétiquement dans le système nerveux humain : la genèse des modèles-'objet' se perd souvent dans les brumes de l'évolution biologique qui l'a enfermée dans les boîtes noires des réflexes neurosensoriels.

et comme étant soumis à des ‘causes’ de changement, intrinsèquement vraies elles aussi et qui agissent avec un détail et une rigueur sans bornes.

La physique classique est elle aussi dominée par les caractéristiques de la conceptualisation classique courante. Elle aussi s’appuie directement sur des modèles-‘objets’. Et selon la physique classique le caractère probabiliste d’une description (par exemple celle des effets des jets d’un dé, où celles de la théorie cinétique des gaz) peut toujours être éliminé par l’application en toute rigueur de la théorie classique fondamentale utilisée (la mécanique newtonienne, ou celle d’Einstein, ou l’électromagnétisme de Maxwell, ou quelque composition de ces théories). Toutes les théories de la physique classique sont déterministes dans leurs principes, d’une manière stricte et absolue. Les caractères statistiques ou probabilistes ne s’imposent qu’“en pratique” et l’on postule qu’ils sont explicables par quelque ignorance ou quelque abstraction faite de données qui sont disponibles dans la représentation rigoureuse placée en-dessous de ce caractère, dans les théories de base qui interviennent.

Le fait que ce postulat causal explicatif soit entaché de non effectivité, au sens de l’impossibilité à la fois factuelle et théorique d’empêcher des comportements ‘chaotiques’, n’a fait qu’un scandale de salon. Il n’a pas épuré les mentalités (Longo [2002], MMS [2002c]). L’univers conceptuel de la science classique fonctionne sur un substrat lissé par un déterminisme foncier décrété dont le caractère faussement absolu et universel se cache dans le flou de la pensée courante.

La physique classique opère à l’intérieur du piège du réalisme naïf (3.1.4).

Il n’est donc pas étonnant que les modélisations initiales classiques successives – moléculaire, atomique, nucléaire, et même celle en termes de particules élémentaires – n’aient pas véritablement abouti. Les maillons de cette chaîne de modèles en termes d’‘objets’ classiques conçus à des échelles d’espace-temps de plus en plus petites, ont laissé la pensée physique en panne. Les éléments de cette chaîne suspendue au plafond de la conceptualisation classique, ne s’implantent pas dans la factualité physique qu’ils concernent. Ils ne l’atteignent même pas. Ils restent comme ballants au dessus d’un non-fait conceptuel où tourbillonnent les malentendus métaphysiques du réalisme naïf, cependant que de leur intérieur, leur nature de répliques arbitrairement extrapolées de la croûte classique de nos modes de conceptualisation ancestraux, les rend friables.

Seule la mécanique quantique fondamentale – celle qui s’est forgée entre 1900 et 1930 – a trouvé moyen de véritablement enraciner les descriptions de microétats, dans la factualité physique qu’elles concernent, en introduisant pour la première fois dans l’histoire de la pensée ce qui – dans l’*IMQ* – a été dénommé des descriptions primordialement transférées. Par cela elle a vitalisé a posteriori la physique classique des noyaux, des atomes, des molécules, et aussi, la physique encore inachevée des champs et des particules élémentaires.

Mais elle a accompli ces performances via un formalisme cryptique, dépourvu de toute organisation épistémologique-méthodologique-opérationnelle, et qui, en conséquence de cela, soulève les problèmes bien connus.

C’est cette situation qui a conduit à l’approche de *IMQ*, dont le premier but était d’identifier explicitement et jusqu’au bout les exigences d’une théorie des microétats débarrassée de tout dogme ou ambiguïté épistémologique. A son tour ce but a conduit à enraciner explicitement la démarche *IMQ* dans la factualité microphysique aconceptuelle, afin qu’aucun obstacle sur le trajet du développement ne puisse échapper non rencontré et a fortiori non traité.

Or de là, de la factualité microphysique aconceptuelle, on ne peut développer la conceptualisation que vers le ‘haut’ classique de la verticale des phases de conceptualisations humaines du réel physique. Car, par construction, en ‘dessous’ il ne reste aucun espace abstrait où l’on puisse loger de façon non-contradictoire la *notion* de quelque conceptualisé ou conceptualisable qui puisse ‘expliquer’ les résultats obtenus d’une manière plus définie, plus ‘complète’, plus ‘singulière’ (au sens grammatical).

Voilà les significations de ces expressions de ‘haut’ et ‘bas’, ‘en-dessous’, etc.

En ces conditions, si par une application inertielle du principe déterministe l’on éliminait le caractère factuel primordialement statistique-‘probabiliste’ de la description de microétat qui émerge, qu’en resterait-il ? Rien. Cette description toute entière n’est rien de plus que les lois de ‘probabilité’ primordiales construites en relation directe avec des fragments de substance physique aconceptuelle non-perçus. *Point*.

Donc l’explication des probabilités comportées par les descriptions transférées primordiales de microétats construites dans IMQ ne peut être construite que *sur la base* de ces descriptions et en cohérence constamment contrôlée avec elles.

Mais ce renversement d’*ordre de constructibilité* – qui découle du choix délibéré de l’*origine* choisie dans la démarche constructive de IMQ – entraîne avec nécessité un statut méthodologique-épistémologique correspondant, et celui-ci est par construction pur de toute connotation ontologique.

(Je refuse l’expression courante de ‘probabilités essentielles’ précisément parce qu’elle comporte une forte connotation ontologisante qui suggère des ‘propriétés intrinsèques’ des entités représentées elles-mêmes)⁸¹. L’on peut aussi noter que :

Le caractère primordialement statistique de la description transférée de base d’un microétat naît lors de l’interaction dénotée ‘G’ qui, à l’aide d’‘objets’ au sens de la conceptualisation classique macroscopique, heurte du réel microphysique aconceptuel.

Toutefois, de ce qui vient d’être souligné il découle le fait de connaissance tout à fait réel que les contenus des représentations de microétats construites à partir des descriptions primordialement transférées statistiques-probabilistes et en montant vers la conceptualisation classique, sont certainement différents des contenus des représentations d’entités physiques microscopiques accomplies dans l’ordre historique ‘descendant’, car ces deux démarches en sens opposées incorporent des contraintes mutuellement distinctes et dans des successions structurantes opposées.

3.1.7. *Descriptions ‘primordialement transférées’ versus réalisme scientifique*

Notamment, des chaînes de conceptualisation construites sur la base des descriptions de microétats primordialement transférées, désintègrent le piège du réalisme naïf où se

⁸¹ Tout ce qui vient d’être rappelé n’est qu’une manifestation particulière du fait que, toujours, nos conceptualisations du réel physique sont nécessairement marquées d’un caractère méthodologique-épistémologique-opérationnel, même dans les sciences classiques. La croyance qu’il serait possible d’échafauder un système logiquement cohérent de représentations d’un domaine de réel physique, exclusivement à coup de purs constats, de pures découvertes, se révèle avec évidence comme illusoire dès qu’on y pense véritablement. Il faut commencer par vouloir ceci ou cela, opérer ‘afin que’, poser, définir et dénommer, tout cela délibérément, et bien sûr en relation constante avec du factuel et avec les exigences cognitives et logiques. En ces conditions il convient de déclarer en chaque phase explicitement en fonction de quelles contraintes on agit, afin d’offrir aux regards critiques une perceptibilité claire de toutes les relativisations incorporées, qui précisent en délimitant dans les volumes abstraits et factuels.

débattent les esprits torturés par les problèmes de complétude et ontologique.

En effet, d'une manière évidente et irrépressible, le processus de construction de connaissances absolument premières concernant des microétats a conduit dans *IMQ* à des descriptions primordialement transférées qui éjectent d'elles explicitement tout réalisme naïf : Ces descriptions sont foncièrement, inextricablement marquées de relativités descriptionnelles. Et cela – tout aussi foncièrement et inextricablement – élimine toute possibilité de retour à un réalisme naïf en ce qui concerne le contenu de, également, toutes les modélisations qui peuvent se constituer sur la base de ces descriptions marquées de relativités descriptionnelles. Ces modélisations, désormais, ne peuvent plus être conçues elles non plus autrement que foncièrement relatives à nos actions cognitives, même si les relativités qui y interviennent génétiquement n'atteignent la conceptualisation classique que cachées dans des boules de modèles-‘objets’ qui roulent causalement sur un terrain conceptuel lissé par un postulat déterministe (MMS [2002b, 2006]).

3.1.8. Descriptions transférées primordiales versus le postulat déterministe

Notamment, sous les effets descriptionnels infusés à partir de la strate initiale des descriptions de microétats primordialement transférées et statistiques-‘probabilistes’, ce postulat déterministe ne peut plus être admis comme absolument ‘vrai’ et comme universel. Au niveau de conceptualisation où il devient possible de construire de la causalité et du déterminisme – via des abstractions fondées sur des considérations concernant une certaine hiérarchie, sur ce niveau là, des effets des ordres de grandeur des distances, des durées, des fonctions d'action, des énergies, qui y interviennent – le postulat déterministe lui-même émerge marqué à la fois de relativités et d'approximations, face aux données factuelles primordialement observables.

Dans ces conditions, tirons les conséquences jusqu'au bout. Lorsque la microphysique fondamentale actuelle n'offre que des descriptions primordialement transférés et statistiques, cependant que la physique macroscopique postule directement un déterminisme ontologique, assigné aux faits mêmes, qui se trouve en difficulté à la fois épistémologique et métaphysique, il paraît approprié d'introduire le postulat suivant.

Toute phase absolument initiale d'un processus de construction de connaissances nouvelles comporte toujours un caractère primordialement statistique, que ce processus soit conscient ou réflexe, physique ou abstrait, à entités-objet-de-qualification microscopiques, ou macroscopiques, ou cosmiques.

Selon un tel postulat, chaque discipline déterministe de la physique classique est à regarder d'emblée comme un construit modélisant et relatif qui est tiré de façon constructive, directement ou de manière médiate, de la phase absolument initiale du processus de construction de connaissances qui est impliqué, une phase qui existe nécessairement et qui – toujours – est primordialement transférée et statistique.

Ces déterminismes conçus comme des construits à partir de descriptions initiales primordialement transférées, statistiques et foncièrement relativisées, préserveraient tous les avantages pragmatiques qui découlent du postulat déterministe classique universel et absolu, sans pour autant assigner un caractère déterministe au ‘mode d'être des faits physiques eux-mêmes’. Et sans que, sur cette base insoutenable, l'on soit conduit à incriminer comme ‘incomplètes’ les représentations d'un domaine du réel physique qui ne possèdent pas un caractère déterministe, notamment parce que tout simplement elles ne disposent pas

encore d'une matière descriptionnelle de laquelle forger un tel caractère, ni d'une place conceptuelle aménagée où le loger.

Cela – associé à une unification des conceptualisations classiques, avec leurs sources premières factuelles-épistémologiques-méthodologiques, via des chaînes de connaissance qui débuteraient systématiquement avec des descriptions primordialement transférées et statistiques – nous mettrait dans un schéma global de pensée entièrement cohérent.

3.1.9. Une 'coupure' [IMQ-classique]

Nous avons mis en évidence que les descriptions transférées $D_M^o/G, me_G, V_M/$ de microétats appartiennent à une strate primordiale de conceptualisation dont la structure descriptionnelle est radicalement distincte de celle des descriptions classiques.

D'autre part nous avons rappelé que les descriptions au sens classique comportent des modèles-'objets' (élaborés sur la base de descriptions transférées primordialement probabilistes qui se sont construites de manière réflexe ou bien seulement implicite). Ces modèles-'objets' préexistants sont dotés par la modélisation qui les a générés, de 'propriétés' indépendantes de toute action cognitive. Et – selon la pensée courante, selon les langages naturels avec leurs grammaires, selon la logique et les probabilités classiques, et toutes les disciplines 'dures' de la science classique – ces 'propriétés' indépendantes permettraient de sélectionner des objets-d'étude parmi les modèles-'objets' préexistants et dans une même foulée de qualifier les objets-d'étude sélectionnés.

On a appréhendé les distances qui, selon diverses directions, séparent les descriptions au sens classique, des descriptions $D_M^o/G, me_G, V_M/$ primordialement transférées et statistiques : Il en ressort clairement qu'il s'agit de deux phases radicalement distinctes des processus de conceptualisation.

Ces remarques conduisent trivialement à la conclusion suivante.

Entre : **(a)** les descriptions de microétats $D_M^o/G, me_G, V_M/$ primordialement transférées et statistiques et **(b)** les descriptions au sens classique, fondées sur des modèles-'objets' conçus comme dotés de propriétés intrinsèques, il existe une 'coupure [IMQ-classique]' qui ne peut être comblée d'une manière non contestable que par des modélisations explicitement fondées sur les caractéristiques des descriptions $D_M^o/G, me_G, V_M/$ ⁸²⁸³.

La mystérieuse 'coupure [quantique-classique]' s'inscrit dans la coupure [IMQ-classique], puisque IMQ inclut par construction les descriptions transférées élaborées dans la mécanique quantique (2.3.2.3, 2.3.2.4).

La raison pour laquelle la définition du contenu de cette coupure oppose des résistances à ce jour même, est que la forme qualitative intégrée $D_M/G, me_G, V_M/$ des descrip-

⁸² Les considérations qui concernent les ordres de grandeur des valeurs qualifiantes qui interviennent, comparés à ceux de la constante h de Plank, ne sont que des conséquences du fait fondamental explicité dans le texte. Et – en tant que telles – elles sont en outre foncièrement approximatives. Tandis que la coupure mise en évidence ici est radicale : c'est une coupure de nature descriptionnelle.

⁸³ Dans MMS [2006] – à l'intérieur de la méthode de conceptualisation relativisée MCR – cette coupure apparaît explicitement comme un cas particulier incorporé dans une coupure générale [(descriptions primordialement transférées et statistiques)-(descriptions classiques)], libérée de toute coalescence avec la coupure micro-macro : Au niveau macroscopique, comme au niveau microscopique, comme aussi au niveau cosmique, le seul ordre de construction de connaissances qui assure la capacité d'une intégration exhaustive de toutes les contraintes qui agissent (cachées ou explicitées) dans la conceptualisation d'un modèle-'objet' donné, place à sa base génétique (chronologique) – absolue par construction – des descriptions primordialement transférées et statistiques. Cependant que l'ordre explicatif-logique-déductif n'intervient qu'a posteriori pour des buts d'unification syntaxique d'îlots de descriptions préconstituées).

tions de microétats primordialement transférées et statistiques, est restée non connue d'une manière explicite.

3.2. La source commune des problèmes 'internes' suscités par la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$

Dans les problèmes qui émergent concernant la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$, ce qui agit à la base de tous ces 'problèmes, est, uniformément une compréhension insuffisante, vacillante, dépourvue de radicalité et de tranchant, du fait que la spécificité majeure d'une description de microétat est d'être au départ, pour l'homme, une description toute première, primordialement transférée et statistique. Et que toute modélisation qui modifie cette description de base de manière à l'amener à être véritablement intelligible pour nous – ce qui relève d'une tendance à la fois irrépressible et utile – ne doit être tenté qu'après avoir constitué la description $D_M^o/G, me_G, V_M/$ d'une manière pure de toute interprétation a priori, strictement neutre face aux faits d'observation que l'on peut susciter tels qu'ils impliquent l'entité inconnue à décrire d'une manière utilisable pour en 'savoir' quelque chose de stable, de prévisionnel, de consensuel, mais sans jamais la rendre connue 'en soi', ni 'un peu', ni de façon 'convergente', juste *jamais 'en soi'*, sans nuances aucunes.

Car rien de physique n'est connaissable 'en soi', et si l'on mélange des phases descriptionnelles distinctes on ne peut pas comprendre véritablement la nature du contenu du résultat, ce qu'il affirme véritablement. Et alors on s'enfonce dans des problèmes illusoirs.

Malgré quelque 80 années d'existence de la mécanique quantique et d'utilisation du formalisme mathématique de cette théorie, la forme intégrée des descriptions de microétats symbolisée ici $D_M^o/G, me_G, V_M/$, avec sa genèse, ses caractéristiques et ses conséquences, sont restées foncièrement étrangères à nos esprits éduqués par des interactions cognitives directes avec le réel factuel macroscopique, via nos sens biologiques qui inscrivent les perceptions dans de l'espace, du temps, de la causalité. Mais la situation change dès que la forme descriptionnelle $D_M^o/G, me_G, V_M/$ est connue et véritablement comprise via sa genèse, et que l'on a perçu la scission entre la nature de la représentations des actions cognitives du concepteur-observateur, d'une part, et d'autre part les caractères de la représentation des connaissances accumulées concernant le microétat à 'décrire'. Car alors les traits méthodologiques et les relativités que cette forme incorpore dissolvent d'ores et déjà le problème de complétude, le problème ontologique, le problème de la spécificité de l'indéterminisme quantique primordial, face au 'hasard' classique, et le problème de la définition de 'la coupure quantique-classique'.

3.3. *IMQ* versus consensus

Enfin, examinons la question des conditions de constructibilité de consensus concernant les assertions observationnelles faites à l'intérieur de l'*IMQ*. Ces conditions s'expriment rapidement, mais leurs conséquences sont importantes en ce qui concerne le 'problème' de l'unification entre mécanique quantique et relativité einsteinienne, examiné dans la deuxième partie de ce travail.

L'*unique* type de consensus que l'on puisse exiger dans le cas d'une théorie à descriptions primordialement transférées et statistiques, est celui obtenu par la comparaison directe des distributions statistiques élaborées *séparément* dans les différents référentiels propres des laboratoires. En effet chacun des observateurs-concepteurs, dans son laboratoire, *ne peut faire rien d'autre* afin d'entrer en possession de données factuelles, que

(2.3.2.2, 2.3.2.3) :

- Effectuer un grand nombre de successions $[G.X]$ ou $[G.Mes(X)]$.
- Prendre connaissance des groupes de marques enregistrées sur les enregistreurs de son appareil, à la suite des opérations d'interaction X ou $Mes(X)$ entre l'appareil et un exemplaire de l'entité étudiée ' me_G ', les marques enregistrées étant dépourvues de toute qualité associable à l'entité physique étudiée ' me_G ', cependant que cette entité elle-même est inobservable isolément en conséquence des conditions cognitives dans lesquelles se déroule l'investigation.

- Classer ces groupes de marques selon quelque critère codant.
- Dénombrer les groupes de marques de chaque classe et en établir la répartition statistique. Par construction, les seuls invariants requis lorsqu'on passe d'un observateur à un autre, sont le procédé et ses résultats, qui, en leur essence, doivent être identiques à ceux de tout autre observateur qui opère séparément dans le référentiel de son propre laboratoire.

Notamment, le cas de deux ou plusieurs observateurs liés à des référentiels en mouvement (inertiel, ou non) les uns par rapport aux autres, qui tous observent directement via des signaux lumineux un mobile extérieur à tous les laboratoires et, pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un 'même' mobile, doivent spécifier et respecter telle ou telle loi de transformation des coordonnées d'espace et de temps, tout cela simplement ne se présente pas, et n'a même pas de sens, puisque les concepts même de mobile et de trajectoire n'ont aucun sens dans la situation cognitive liée à des descriptions transférées primordialement statistique. Des concepts de cette sorte ne peuvent (éventuellement) être associés à des microétats que via des modélisations accomplies dans des phases de conceptualisation subséquentes.

Or, selon les principes même de la relativité restreinte :

« Le déroulement de phénomènes analogues liés de la même façon à divers systèmes de référence, ne dépend pas du mouvement rectiligne et uniforme du système de référence. »⁸⁴

Bref, en ce qui concerne le type de consensus exigible, la situation est du même genre que celle qui se réalise dans l'entière physique classique : L'assertion d'un résultat expérimental donné doit être vérifiable dans chaque référentiel propre. Point.

3.4. *IMQ* considérée globalement de son extérieur

3.4.1. *Remarques générales sur espace, temps et géométrie*

Un individu humain normal ne peut percevoir, ni même seulement concevoir, une entité physique – objet, événement, substance – sans la placer dans l'espace et le temps. Ceci est un fait psychique qu'il paraît difficile de contester. Kant a exprimé ce fait en posant que l'espace et le temps sont deux formes *a priori* de l'intuition.

Dans ce qui suit j'adopte explicitement ce postulat.

J'ajouterai un aveu épistémologique : réciproquement, je n'arrive pas à concevoir de l'espace ou du temps en l'absence – strictement – de toute existence physique, ou au moins d'une émanation d'une existence physique, comme mon attention cachée quelque part pour surveiller, et mon souffle qui en quelque sorte dénombre qualitativement du passage de temps.

Le postulat kantien rappelé plus haut n'implique aucune structure d'espace, ou de temps, ou d'espace-temps. Il n'affirme qu'un fait concernant le psychisme des indivi-

⁸⁴ Marie-Antoinette [Donnelat, 1971, p. 152].

des humains. Comment, alors, s'engendrent des 'géométries' d'espace, ou de temps, ou d'espace-temps ?

Poincaré [1898] a notablement élaboré l'idée que l'assignation à l'espace – considéré comme une donnée première non structurée⁸⁵ – d'une structure géométrique euclidienne, émerge par l'intégration dans un système unique, stable et cohérent, de toute la diversité des aspects spatiaux qui sont impliqués dans les interactions naturelles kinésiques et sensorielles entre les individus humains et du réel physique. Cette intégration, la géométrie euclidienne, s'exprime par un système de relations entre, exclusivement, des concepts spatiaux abstraits, points, lignes, figures (cf 1.5.3), où les relativités à tel ou tel 'point de vue' sont évacuées⁸⁶, comme aussi les éléments physiques et biologiques sensoriels qui ont participé aux interactions.

Einstein (peu après Poincaré, mais sans faire référence à lui) a fait une assertion similaire dans son exposé de la relativité restreinte. Il y affirme que les interactions *de mesure* que des observateurs inertiels réalisent avec des mobiles macroscopiques, *via* des signaux lumineux, conduisent à la géométrie d'espace-temps 'Minkowski-Einstein'. Mais notons que, à la différence de la géométrie d'espace euclidienne, la géométrie d'espace-temps de Minkowski-Einstein n'est pas intégrative jusqu'au bout. Elle n'intègre (dans un schéma à deux cons de lumière et deux ailleurs) que l'ensemble des interactions de mesure d'une seule classe d'observateurs inertiels ayant tous des états identiques de mouvement inertiel. Une méta-intégration de toutes ces intégrations dans une synthèse unique de toutes les interactions de mesure de tous les observateurs inertiels, n'est pas opérée dans la relativité restreinte. C'est pour cette raison que la géométrie Minkowski-Einstein ne permet pas de définir une causalité générale cohérente.

Quelques trente années plus tard Husserl a développé sa célèbre phénoménologie où il décrit les processus de constitution transcendantale des "objets" physiques⁸⁷. Une entité physique donnée est toujours perçue exclusivement de tel ou tel point de vue particulier ; elle n'est jamais perçue de tous les points de vue possibles. Une perception relative à un point de vue donné, conduit à une description correspondante particulière de cette entité. Mais l'ensemble de toutes les différentes descriptions *particulières* possibles d'une entité donnée, est intégré par l'esprit dans un concept abstrait d'un "objet" conçu comme l'invariant de cet ensemble, qui transcende la perceptibilité sensorielle (c'est ce qui, dans ce travail, a été à plusieurs reprises désigné par l'expression 'objet'-modèle).

Il paraît naturel (sinon même inévitable) de regarder le concept de géométrie euclidienne de Poincaré comme un 'objet-cadre' général construit comme l'invariant de *tous* les ensembles d'interactions humaines courantes avec des entités physiques, chacun de ces ensembles engendrant un "objet" au sens de Husserl.

Dans les sciences cognitives actuelles une vue de cette sorte commence à poindre chez des neurobiologistes et elle est étayée par des philosophes (Berthoz and Petit

⁸⁵ Poincaré ne fait pas référence à Kant, pour autant que je sache.

⁸⁶ Elles constituent un autre système, annexe, la géométrie euclidienne projective.

⁸⁷ Rappelons que chez Husserl 'transcendantal' veut simplement dire 'par interaction'.

[2006])⁸⁸.

Quant à la relativité générale, ce qu'elle introduit n'est *pas* ce que j'accepte d'appeler une géométrie d'espace-temps. Selon ma vue c'est une représentation géométrique où une certaine géométrie d'espace-temps qui n'est pas explicitée de façon isolée, est d'emblée mise en coalescence avec un codage géométrique de distributions variables de masses et de champs, cela sous la contrainte d'un but descriptionnel défini, très particularisant : le but que la loi de mouvement de tout mobile macroscopique donné observé par tout ensemble donné d'observateurs – *via* des signaux lumineux – soit construite par tous ces observateurs comme une géodésique de la représentation géométrique mentionnée.

De ces considérations, retenons ce qui suit. Une 'géométrie' d'espace ou d'espace-temps émerge comme une 'constitution transcendantale', i.e. comme la constitution d'une structure intégrative abstraite fondée sur un ensemble d'interactions d'un type donné mais qui transcende ces interactions (des interactions naturelles, ou de mesures macroscopiques opérées par des observateurs physiciens *via* des signaux lumineux, ou encore, sans doute, des interactions d'autres catégories possibles).

Lorsque le type considéré d'interactions change, la géométrie qui en émerge change elle aussi. Il s'agit d'une structure *de référence*, à but de consensus intersubjectif relatif à la classe de descriptions visée. Ce n'est jamais une géométrie absolue et que l'on puisse, sans absurde, postuler comme étant 'physique' et 'factuellement vraie'.

3.4.2. *IMQ versus espace, temps et géométrie*

Comment interviennent l'espace et le temps dans l'infra-mécanique quantique ?

Ils y interviennent d'abord fondamentalement, en tant que formes *a priori* de l'intuition des concepteurs humains qui ne peuvent concevoir des entités physiques sans les loger dans de l'espace et du temps (cf. 'la scission MS-B' dans 2.2.6).

Ils y interviennent également dans les assignations de *coordonnées* d'espace et de temps impliquées dans les définitions des opérations G de génération d'un microétat et des opérations de qualification par des $Mes(X)$, où elle conduisent à la 'condition-cadre' qui est cruciale pour la qualifiabilité d'un microétat (cf. 2.3.2.2) : des indexations pour communicabilité, afin de pouvoir fonder du consensus. Ces assignations de coordonnées *dépassent* l'appartenance aux formes *a priori* de l'intuition humaine. Elles appartiennent à une activité scientifique qui exige l'incorporation dans une structure géométrique.

Mais laquelle ? La géométrie d'espace euclidienne associée au temps absolu de Galilée et Newton, ou bien des géométries d'espace-temps de Minkowski-Einstein ?

Examinons la situation de plus près. Selon l'infra-mécanique quantique, l'algorithme qualitatif de construction de connaissances concernant un microétat me_G conduit à des descriptions primordiales transférées $D_M/G, me_G, V_M/$. La genèse et le résultat de cette sorte de descriptions sont explicités dans la structure $T(G, V_M/)$ d'arbre de probabilité d'un microétat. Le protocole de construction de cet arbre comporte la répétition un très grand nombre de fois, de la succession $[G.Mes(X)]$ où X varie sur l'ensemble des 'grandeurs mé-

⁸⁸ La description d'une entité physique macroscopique donnée, fondée exclusivement sur telle ou telle structure perceptive particulière éprouvée par un individu humain à la suite d'interactions sensorielles avec cette entité physique, peut être regardée comme une description de l'entité physique qui est *transférée* sur les enregistreurs d'appareils sensoriels biologiques de l'individu humain. Mais dans la mesure où l'entité-objet-de-description qui intervient est connue à l'avance, il s'agirait d'une hybridation du concept de description transférée primordiale, avec le concept d'"objet" au sens de modèle-'objet' macroscopique.

caniques' (tests liés à une signification mécanique) redéfinies pour des microétats. Chaque succession $[G.Mes(X)]$ implique les données d'espace-temps $d_G.(t_G - t_0)$ et $d_X.(t_X - t_G)$ (voir la *figure 1* du chapitre 2) ainsi que – en général – les coordonnées d'espace et de temps des marques physiques observables $\mu_j, j = 1, 2, \dots, m$ observées sur les enregistreurs de l'appareil $A(X)$ mis en jeu. Que peut-on dire concernant ces différentes qualifications d'espace et de temps qui interviennent ?

La première remarque qui vient à l'esprit est que toutes ces qualifications s'appliquent directement, non pas à des interactions entre l'expérimentateur et les microétats me_G étudiés, mais aux interactions de l'expérimentateur avec les appareils macroscopiques utilisés pour réaliser les opérations G et $Mes(X)$. Chaque expérimentateur accomplit des opérations G et $Mes(X)$ dans son référentiel propre lié à son laboratoire, sans observer rien d'autre que ses appareils, leur état et les marques physiques qui s'y affichent. Nulle part n'interviennent ni des 'mobiles' observés par plusieurs observateurs à la fois, ni des 'signaux lumineux' pour accomplir les observations et notamment pour assigner des coordonnées d'espace et de temps. En outre, le but n'est pas d'établir, pour un 'mobile' donné qui serait observé à partir d'états d'observation différents, une loi de mouvement dont la forme soit invariante aux changements d'états d'observation inertiels. Le but, dans ce cas, est d'établir des distributions de probabilité fondées sur des dénombrements de marques physiques amassées sur des enregistreurs d'appareils, où elles peuvent attendre leur lecture et leur dénombrement aussi longtemps qu'on veut.

Tout cela paraît entièrement étranger aux géométries de Minkowski-Einstein et d'autant plus à la géométrie riemannienne de la relativité générale. Tout ce qui, dans l'élaboration des descriptions primordiales transférées des microétats, s'inscrit dans de l'espace-temps, se rapporte aux interactions entre l'expérimentateur et des appareils macroscopiques et s'intègre à la géométrie euclidienne et au temps social conventionnel utilisés dans la physique classique⁸⁹.

3.4.3. *IMQ versus la question de localité*

La situation conceptuelle mise en évidence dans *IMQ* le chapitre 3 modifie la perception du problème de localité. Elle conduit à percevoir clairement que la conclusion affirmée par Bell n'est pas imposée avec nécessité logique par la preuve mathématique de son inégalité. Corrélativement elle permet de préciser la signification de l'inégalité prouvée par Bell. (Afin de montrer cela il pourrait être utile de se remettre dans l'esprit le contenu du paragraphe 2.3.3, en tant qu'une introduction approfondie).

3.4.3.1. *La structure du théorème*

Comme il est bien connu, parmi les divers types de microétats décrits par la mécanique quantique, Einstein, Podolski et Rosen (Einstein et al. [1935]) ont sélectionné un micro-état de deux micro-systèmes du type qui, à l'intérieur de l'infra-mécanique quantique, a été caractérisé dans 3.9.1. Selon l'argument EPR, ce cas conduirait à conclure que (Bell [1966], l'abstract) :

« ... quantum mechanics could not be a complete theory but should be supplemented by additional variables. These additional variables were to restore to the theory causality and locality. »

⁸⁹ Je tiens à pourtant déclarer ouvertement une question qui me préoccupe depuis longtemps (MMS [1989, 1994]) sans avoir réussi à trouver une réponse qui me paraisse entièrement satisfaisante.

Or Bell [1966], en continuation dans l'abstract) a affirmé avoir démontré que ceci n'est pas possible :

« In this note this idea will be formulated mathematically and shown to be incompatible with the statistical predictions of quantum mechanics. It is the requirement of locality, or more precisely that the result of a measurement on one system be unaffected by operations on a distant system with which it has interacted in the past⁹⁰, that creates the essential difficulty. »

Le travail de Bell se place donc à l'extérieur de la mécanique quantique (et aussi de l'infra-mécanique quantique) : l'on y examine la possibilité de 'compléter' le formalisme quantique par une modélisation au niveau microphysique à l'aide de paramètres additionnels cachés face au formalisme quantique, qui rende ce formalisme conforme à la condition de 'localité' exigée par la théorie de la Relativité d'Einstein : il s'agit donc d'un méta-problème de relation entre des théories différentes.

Bell a procédé de la façon suivante (très bien connue, mais que je rappelle pour autosuffisance de ce chapitre).

Il a d'abord exprimé mathématiquement, pour le micro-état particulier de deux micro-systèmes considéré, l'exigence de localité au sens d'Einstein transposée dans une modélisation microphysique à l'aide de paramètres additionnels face au formalisme quantique. La transposition est accomplie de la façon suivante. Bell a isolé les effets possible de l'"interaction passée" entre les deux micro-systèmes S_1 et S_2 , en les incorporant tous par définition à un paramètre caché unique dénoté λ – et en permettant ces effets – mais tout en imposant par ailleurs aussi sa 'condition de localité' exprimée par l'exigence d'indépendance du résultat B d'une mesure sur S_2 , de la position de l'enregistreur a où s'inscrit le résultat A de la mesure opérée sur la paire S_2 de S_2 , et *vice versa* pour le résultat A et la position de l'enregistreur b du résultat B de la mesure sur S_2 (cf. les bien connues conditions (1) et (2) du travail de Bell⁹¹).

Ensuite Bell a démontré son inégalité qui exprime que, dans le cas considéré, sa transposition de l'exigence einsteinienne de localité en termes d'une modélisation à paramètres cachés n'est pas compatible avec les prédictions quantiques numériques correspondantes.

Or, dans le cas considéré, il est possible de trancher expérimentalement entre les deux représentations.

Bref, Bell a organisé, pour le cas considéré, une opposition décidable par l'expérience, entre (a) [les prédictions comportées par une modélisation du formalisme quantique au niveau microphysique et qui est supposée 'locale' au sens d'Einstein], et (b) [les prédictions quantiques].

Ici finit ce qui, dans le théorème de localité, est représenté mathématiquement.

A cette représentation mathématique Bell juxtapose l'affirmation suivante intitulée "Conclusion" :

⁹⁰ Notons que nulle part dans le travail de Bell, ni dans les innombrables travaux sur le problème de localité qui ont été publiés depuis, on ne parle d'une opération de génération G_{12} qui engendre le micro-état de deux micro-systèmes que l'on étudie. On ne parle que d'"interaction" et d'"entanglement" ("intrication"). On s'exprime comme si les micro-systèmes considérés n'étaient pas souvent eux-mêmes (pas seulement leurs micro-états) engendrés de toutes pièces par cette "interaction", ce qui fait perdre son sens au mot 'interaction' qui présuppose la préexistence des éléments qui interagissent. L'adéquation générale du terme d'opération de génération de micro-état' – et uniquement de ce terme (ou d'un équivalent) – reste systématiquement occultée tout au cours de l'exposé de Bell (comme dans tout exposé concernant des microétats, à ce jour même) (dans le paragraphe 'V. Généralisation' on trouve une suite de périphrases qui remplacent le vide d'une définition du concept d'opération de génération de micro-état'). C'est à ce point là que l'importance conceptuelle et opérationnelle foncière et générale, pour la possibilité même des conceptualisations primordiales transférées, a été, et continue d'être occultée à ce jour même, autant à l'intérieur de la mécanique quantique, que lorsqu'il s'agit de sa modélisation au niveau microphysique par des paramètres supplémentaires.

⁹¹ $A = A(a, \lambda)$, $B = B(b, \lambda)$, $P(a, b) = \int d\lambda \rho(\lambda) A(a, \lambda) B(b, \lambda)$.

« In a theory in which parameters are added to quantum mechanics to determine the results of individual measurements, there must be a mechanism whereby the setting of one measuring device can influence the reading of another measurement, however remote. Moreover, the signal involved must propagate instantaneously so that such a theory could not be Lorentz invariant. »

Il affirme donc, dans sa conclusion, que :

La corrélation statistique prédite pour le cas d'un micro-état de deux micro-systèmes, par une modélisation des descriptions quantiques qui serait 'locale' au sens d'Einstein – si elle se vérifiait – entraînerait nécessairement l'existence factuellement 'vraie' d' 'influences' par des 'signaux' à 'propagation instantanée'.

C'est cette conclusion que je conteste, en tant que conclusion *déduite*, logique.

3.4.3.2. *La situation expérimentale actuelle*

Les expériences accomplies par Alain Aspect (??) ont établi déjà depuis plus de 25 ans et avec un grand degré de certitude, que les prédictions du formalisme quantique dans le cas considéré, se vérifient. Autrement dit, ces expériences ont établi que – dans le cas considéré – l'expression mathématique à l'aide de paramètres additionnels donnée par Bell à l'exigence de localité au sens d'Einstein, n'est pas réalisée dans le cas considéré.

Les expériences ultérieures de Weihs, Jennewein, Simon, Weinfurter, and Zeilinger [1998], et actuellement les expériences de Salart, Baas, Branciard, Gisin, and Zbinden [2008], montrent en outre la quasi 'instantanéité' des corrélations constatées.

On se trouve devant ce fait : Les prévisions quantiques se vérifient, celle d'une modélisation microscopique 'locale' ne se vérifient pas.

3.4.3.3. *Les réactions actuelles à la situation expérimentale*

Et 'donc', dit-on, une modélisation des descriptions quantiques des microétats – au niveau microphysique et à l'aide de paramètres cachés face au formalisme quantique – qui soit 'locale' au sens d'Einstein, semblerait exclue⁹².

Actuellement la plupart des physiciens se soumettent plus ou moins sereinement et passivement à cette opinion, même si dans leurs manières de dire l'on perçoit uniformément un certain étonnement.

Mais d'autre part cette soumission conceptuelle ne suspend, ni ne ralentit, la recherche d'une 'unification' de la mécanique quantique avec les relativités d'Einstein, où donc les comportements des micro-états soient contraints par les conditions relativistes, notamment celles de séparabilité et de causalité locale.

3.4.3.4. *La situation conceptuelle révélée par l'infra-mécanique quantique*

Les examens accomplis dans les paragraphes 3.1, 3.2 ont mis en évidence que sur la verticale des niveaux de conceptualisation, il existe un *ordre* de constructibilité progressive ; et que – pour le cas des microétats – cet ordre part de descriptions transférées absolument premières, conduit ensuite à des modélisations immédiates de celles-ci ; puis s'arrête (pour l'instant) dans une 'coupure' [quantique-classique] qui n'est pas encore comblée d'une façon accomplie et consensuelle (cf. 3.1) ; puis continue au-dessus de cette coupure

⁹² J'utilise le conditionnel parce j'ai construit un contre-exemple qui est mentionné plus bas.

avec des conceptualisations en termes d’“objets” classiques. Cet ordre de constructibilité permet d’acquérir progressivement, concernant la manière de construire la strate de conceptualisation qui suit, une certaine ‘compréhension’ des relations entre les strates successives de conceptualisation. Mais il s’agit là de compréhension en un sens génératif et tâtonnant, pas déductif. En principe, cette sorte de compréhension doit permettre de parfaire de proche en proche la construction d’une représentation pleinement accomplie de la relation globale – étalée – entre les descriptions primordiales transférées des microétats et les concepts de ‘localité’, ‘séparabilité’, ‘causalité’, ‘déterminisme’, qui ont été élaborées d’abord sur le niveau des conceptualisations macroscopiques du réel physique.

Mais *la démarche inverse n’est pas possible*. Si on la tente, alors on s’enlise inévitablement dans de faux problèmes et des paradoxes de la même nature que ceux qui ont été discutés à fond dans 3.1. Car l’ordre de constructibilité – comme tout ordre – comporte une asymétrie foncière entre les deux sens de circulation sur la verticale des niveaux de conceptualisation : il explicite des conceptualisations telles qu’en général elles s’opposent aux transports de concepts incorporés à des conceptualisations macroscopiques, vers des conceptualisations microscopiques. Bohr l’a assez dit. C’est d’ailleurs ce qui a fait barrage à une physique statistique fondée sur un modèle de ‘mobile’ au sens de Newton. Dans l’ordre historique de développement des connaissances, les conceptualisations macroscopiques sont premières pour tout individu humain. Pour cette raison il en émane une conviction d’absolu qui pousse à en exporter les concepts à tous les autres niveaux de conceptualisation, microphysiques ou cosmiques. Mais dès qu’on tente un transport direct de cette sorte – qui selon l’ordre de *constructibilité* qui commence au ras de l’encore jamais conceptualisé est placé à un niveau antérieur à celui de la conceptualisation macroscopique bien qu’il soit historiquement postérieur – alors on se heurte sur le niveau d’arrivée à une absence de ‘volume conceptuel’ déjà construit où l’on puisse déposer les concepts transportés. Si alors on y fait le dépôt quand même, il s’y engendre une sorte de structure chimérique, comme celle des ombres engendrées par une lanterne magique qui projette sur un mur des images d’objets placés à des distances et dans des angles de vue différents.

Cela crève maintenant les yeux, si l’on reconsidère les descriptions primordiales transférées des microétats à la lumière des considérations du chapitre 4, que les concepts de séparabilité et de causalité locale ne peuvent pas y être insérés. Ces concepts ont été conçus initialement concernant des ‘mobiles’ (“objets”) macroscopiques, supposés préexistants et munis de propriétés qu’ils contiendraient dans eux-mêmes, des ‘mobiles’ à volume *confiné* dans l’espace, observés par des observateurs humains munis de référentiels (mutuellement inertiels, ou pas), d’une manière directe et à l’aide de signaux lumineux. Ces concepts, en outre, sont nés sous la contrainte de consensus parmi de *tels* observateurs, un consensus imposé spécifiquement et exclusivement concernant la loi de mouvement des ‘mobiles’ considérés. Il serait pour le moins gratuit, sinon carrément absurde, d’imposer des concepts ayant *une telle genèse*, à des descriptions primordiales transférées $D_M/G, me_G, V_M/ = \{p(G, X_j)\}$ qui, à partir du jamais encore conceptualisé, émergent sous la forme d’un ensemble de marques éparées dans l’espace aussi bien que dans le temps, des marques transférées sur des récepteurs d’appareils à la suite d’interactions répétées imaginées et produites par des physiciens mais qui ne sont pas perceptibles par ces physiciens ; des marques distribuées en statistiques ; des marques dont l’appréhension est vide de toute quale incorporée, qui sont dépourvues de tout support sémantique qui leur soit assignable isolément, qui sont séparées de tout concept de propriété “possédée” ; des ‘descriptions’ encore foncièrement mélangées à la manière de les faire émerger, encore dépourvues même d’un support connexe d’espace-temps à contours définissable. Bref, des descriptions encore

si éparpillées et non confinées qu'on a du mal même à leur associer un nom d'une manière qui soit consensuelle.

Aucune des caractéristiques de la conceptualisation einsteinienne ne s'applique à des descriptions d'un type tellement débutant, naissant, inaccompli.

3.4.3.5. *Invalidation 'conceptuelle' du théorème de Bell*

A la lumière de la situation conceptuelle rappelée plus haut, la preuve mathématique de l'inégalité de Bell n'est pas plus critiquable qu'elle ne l'était avant⁹³.

Mais cela est dépourvu d'importance car le côté mathématique de la preuve de Bell est tout à fait secondaire :

- ce que l'on peut reprocher au 'théorème' est de nature conceptuelle, pas formelle ;
- et ce qui est décisif pour la connaissance est la question soulevée et la réponse expérimentale à celle-ci.

Le reproche conceptuel est que la "conclusion" de Bell ne découle pas de la preuve mathématique de l'inégalité de Bell :

Si l'on admet que les prévisions quantiques sont vraies expérimentalement et si l'on veut expliquer ce fait, alors *rien*, mais strictement rien, ni en 1964 ni actuellement, n'impose pour autant avec nécessité logique une explication en termes d' 'influences' par des 'signaux' à 'propagation instantanée'. Au contraire la hiérarchie de la constructibilité des conceptualisations qui s'est fait jour impose d'exclure une explication dans ces termes là, car entre une modélisation microphysique immédiate à l'aide de paramètres cachés, des descriptions primordiales transférées de la mécanique quantique, et un niveau de conceptualisation où l'affirmation ou la négation des qualifications einsteiniennes de séparabilité et de causalité locale soient douées d'une signification définie, s'interpose toute une large zone de construction conceptuelle progressive.

La situation conceptuelle peut être maintenant précisée. La preuve mathématique de l'inégalité de Bell se rapporte à une dichotomie :

- (a) on peut modéliser les descriptions quantiques primordiales transférées, au niveau microphysique, à l'aide de paramètres cachés, en termes de causalité séparable et locale ;
- (b) on ne peut pas faire cela.

Bell a réussi à *définir* cette dichotomie et à la placer sur un seul plan conceptuel. Mais l' 'explication' d'une éventuelle violation, d'une *négation* de cette preuve mathématique dichotomique, n'est pas dichotomique elle aussi. Elle consiste dans une *modélisation* d'un méta-observateur-concepteur, de *ce* qui remplit le domaine d'espace-temps placé par l'esprit de tous les trois observateurs-concepteurs qui sont impliqués, entre les deux régions de leur espace-temps où apparaissent les marques observables. Une telle modélisation mobilise virtuellement l'entier possible factuel-conceptuel inconnu (cf. la figure B10 de 1.3.3). Ce possible inconnu ne peut pas être réduit à une dichotomie logique dicible, et il ne peut

⁹³ On pourrait penser au premier abord que la prise en compte explicite de l'existence, aussi, d'une opération de génération G_{12} qui introduit ses propres paramètres cachés, pourrait modifier la conclusion de la preuve mathématique de Bell. En fait ce n'est pas le cas (parce que la distribution $g(\lambda)$ du paramètre caché λ est quelconque et que la condition de localité est introduite séparément). Sans parler du fait que le concept même d'une probabilité effective, factuellement définissable, pose problème dans ce cas (MMS [2014]).

pas être exclu de façon déductive. Aucun système de prémisses d'une déduction ne peut le contenir, car il est inépuisable et il est innommable *a priori*. Tout au plus, lorsqu'on croit en percevoir une petite trace sur l'horizon de son imagination, on peut tâcher d'en construire une expression conceptuelle⁹⁴ et/ou expérimentale.

En conséquence de cela la conclusion déjà citée que :

« In a theory in which parameters are added to quantum mechanics to determine the results of individual measurements, there must be a *mechanism*⁹⁵ whereby the setting of one measuring device can influence the reading of another measurement, however remote. Moreover, the *signal* involved must propagate instantaneously so that such a theory could not be Lorentz invariant. »

ne s'impose pas logiquement. Dans le travail de Bell agissent des hypothèses implicites. L'une de celles-ci est que dans le cas considéré aucun autre mécanisme d'émergence des corrélations quantiques n'est possible en dehors de celui affirmé dans la conclusion citée. Or cette hypothèse-là est spécifiquement contredite par un contre-exemple :

J'ai réussi à construire un *modèle* qui est *local au sens d'Einstein* et dans le même temps est *compatible avec les prévisions quantiques* (MMS [1988]). Cela – par sa seule *possibilité*, tout à fait indépendamment de sa vérité factuelle – nie la généralité *logique* de l'affirmation de la conclusion de Bell (MMS [1988]). Et le fait que ce contre-exemple est en accord avec les prévisions quantiques a été vérifié par Bordley [137] via un calcul explicite et spécifique lui aussi.

Or d'un point de vue *formel* il n'est pas acceptable que dans un théorème la formulation de la conclusion ne soit pas imposée logiquement par le corps de la preuve. Cette objection vaut quelles qu'aient été les sous-entendus qui, dans l'esprit de Bell, ont psychologiquement conduit à la formulation de sa conclusion. Sa conclusion concerne un problème non-classique', et elle est conçue et exprimée en termes classiques qui la restreignent arbitrairement.

Pour cette raison – non mathématique mais *formelle* – le raisonnement de Bell considéré globalement n'établit pas un 'théorème'.

C'est cet argument que j'appelle une 'invalidation *conceptuelle*'⁹⁶.

⁹⁴ La géométrie est le lieu d'innombrables 'effets purement structurels' (si je modifie un angle dans un triangle l'effet de cette action se produit en dehors du temps) et qui sait tracer une limite infranchissable entre aspects physiques et aspects géométriques ? Et que savons-nous véritablement concernant la structure et le comportement des microétats ? En dehors des cas d'interférence, et même pour ces cas, l'investigation des 'ondes corpusculaires' a stagné. On ne distingue pas très clairement entre l'onde 'corpusculaire' assignée à un électron, et son onde électromagnétique. La vitesse des 'effets tunnel' a donné lieu à des controverses. La relation entre 'gravitons' et 'ondes corpusculaires' n'a pas été étudiée explicitement. Dans le modèle de microétat de la théorie de la double solution de Louis de Broglie ([1956, pp. 125–131]), la 'singularité' très localisée dans l'espace physique, de l'amplitude de l'onde corpusculaire – qui est supposée produire les impacts observables sur un milieu sensible – se déplace à l'intérieur de son onde avec une vitesse plus grande que celle de la lumière, si l'onde est en état d'(auto)interférence ; [de Broglie, 1956, pp. 125–131]. Etc.

⁹⁵ Mes italiques.

⁹⁶ Et notons que les contenus mathématiques de travail de Bell n'interviennent pas dans cette 'invalidation conceptuelle'. Mais dans la perspective créée par l'infra-mécanique quantique concernant le problème de localité, même la question du degré de généralité logique de la conclusion de la preuve de Bell perd massivement de l'importance. Car à la lumière de *IMQ* l'entier problème de localité tout simplement semble se dissoudre dans des considérations plus fondamentales, d'ordre conceptuel. Le fragment de réel microscopique baptisé 'un microétat', que l'on extrait du réel physique microscopique aconceptuel par une opération *G* de génération, conduit à des descriptions primordiales transférées qui – elles – n'incorporent pas encore les concepts d'espace et de temps (2.2.6, 2.5.4, 2.6.2.1). Donc les concepts d' 'influence', de 'signal', de 'propagation', d' 'instantané', tout simplement ne sont pas *définissables* en relation avec de telles descriptions primordiales, elles n'existent pas relativement à elles, comme, par exemple, le concept d' 'intensité' n'existe pas face au concept de carré. Face à ce fait l'entier langage de la conclusion de Bell est lourdement suspect d'inadéquation. Il faudra arriver à véritablement comprendre de quoi il s'agit dans ce cas paradigmatique. Et il est évident qu'une compréhension de l'entière structure conceptuelle impliquée, ne peut être affirmée avant une confrontation – aussi – avec le formalisme

Ainsi la représentation qualitative des microétats construite ici confirme les réticences que j'avais exprimées dès 1979 face au 'problème de localité' formulé par Bell (cf. 1.3.3). Elle les confirme en les précisant jusqu'à les transmuter en une 'invalidation conceptuelle' qui, sans même considérer les aspects mathématiques de la preuve, en critique néanmoins la structure globale.

3.4.3.6. Conclusion sur le théorème de non-localité de Bell

En soulevant la question de la localité de la mécanique quantique dans une forme à la fois mathématisée et vérifiable par l'expérience, Bell a réussi à frapper et retenir l'attention des physiciens théoriciens et expérimentateurs, qui en général révèrent le mathématique d'une façon beaucoup plus unanime et intense que le conceptuel. Et ceci a conduit à réaliser des expériences qui, elles, ont imposé aux attentions des questions qui créent une demande de *modèle* de ce qu'on appelle 'microétat', 'microsystème', etc. Par cela seul, déjà le rôle joué par le travail de Bell a été proprement énorme d'un point de vue heuristique. L'entière question d'un modèle de microétat et des relations entre la représentation des microétats et la relativité einsteinienne, se retrouve désormais clairement dans un 'no man's land' conceptuel déclaré. Et au beau milieu de celui-ci scintille, encore peu remarquée mais très intrigante, la thèse fondatrice de Louis de Broglie, où la relation fondamentale $p = h/\lambda$ a été définie *sur la base* des transformations Lorentz-Einstein ! (MMS [1989, 1994]).

3.5. Commentaire global sur le chapitre 3

Depuis presque 30 années accomplies l'entière communauté des physiciens reste hypnotisée par le dogme *a priori* selon lequel la mécanique quantique devrait être relativiste, et cela conduit à une véritable cécité face à la hiérarchie génétiques des niveaux de constructibilité des conceptualisations, et face aux conséquences de cette hiérarchie.

On raisonne sur une projection illusoire de nos représentations du réel physique, sur un plan de conceptualisation unique qui est factice et où se superposent de façon arbitraire, non construite, dépourvue de cohérence interne, trois niveaux distincts de représentation d'entités physiques :

- le niveau primordial de représentation transférée des microétats ;
- le niveau second d'une modélisation immédiate des descriptions quantiques des microétats, dans le microphysique même, en termes de paramètres supplémentaires cachés – face à la représentation transférée primordiale impliquée dans le formalisme quantique ;
- le niveau de modélisation classique en termes d'"objets" macroscopiques directement perceptibles par l'homme qui préexistent à toute perception et sont investis de "propriétés" qui préexistent elles aussi indépendamment de tout action cognitive réflexe ou délibérée⁹⁷.

Les spécificités du niveau classique de modélisation ont irrémédiablement tendance à dominer les tentatives d'élaboration des représentations placées sur les deux autres niveaux sous-jacents mentionnés, parce que dans la *chronologie historique* de la construction explicite de nos connaissances scientifiques, le niveau classique de conceptualisation macroscopique leur est antérieur. Mais à terme cette tendance est vouée à être vaincue

mathématique de la mécanique quantique. Nous aurons donc à revenir sur la question de localité. Et dans la deuxième partie de ce travail (7.8) l'on sera conduit à noter que *l'entière structuration de la 'preuve' de Belle est simplement dépourvue de pertinence, déjà dans la manière de représenter la condition einsteinienne de 'localité' (7.8)*. Un véritable enseignement dont nous dote l'histoire de la pensée.

⁹⁷ Ce niveau a une structure fine qui distingue entre la structuration newtonienne des formes a priori des 'objets-cadre' d'espace et le temps, celle de la relativité restreinte d'Einstein, et celle de la relativité générale d'Einstein.

à chaque fois qu'un niveau de conceptualisation *nouveau* est atteint par le processus de première construction explicite de connaissances scientifiques. Car dans ce processus là se mettent à l'œuvre [(les conditions cognitives spécifiques qui agissent), (les caractères généraux des processus humains de conceptualisation), et (les exigences de cohérence logique)], un tout à l'intérieur structuré dont, à terme, les effets sont invincibles. Ce fait engendre une deuxième hiérarchie, opposée à celle de la chronologie historique, à savoir la hiérarchie de la constructibilité génétique explicite opérationnelle-épistémologique-méthodologique des conceptualisations, qui à chacun du parcours de ses niveaux en sens inverse au sens chronologique, reflète le degré de complexité référentielle de la conceptualisation qui émerge à ce niveau là. Or selon cette deuxième hiérarchie les descriptions transférées au sens de *IMQ* sont absolument premières, par leur définition même. Elles sont telles dans l'élaboration de toute chaîne de connaissance, quelles que soit la nature des entité-objets-de-description spécifique de la chaîne considérée. Ce niveau absolument primordial, le plus 'bas', qui *toujours* existe, agit de proche en proche sur tous les niveaux subséquents, de manière implicite ou explicite. Et l'on peut établir comment il agit, si l'on prend la peine de patiemment reconstruire la chaîne descriptionnelle considérée du 'bas' vers le 'haut', en mettant à nu les conditions de restructurabilité⁹⁸.

La confusion entre ces deux hiérarchies opposées – celle de la chronologie de nos prises de conscience de nos connaissances dont l'action sur l'esprit est inertielle, et d'autre part celle de l'ordre de restructurabilité explicite à partir du 'bas' absolu des descriptions primordiales transférées, qui comporte des actions adaptatives aux données cognitives – induit des faux problèmes qui peuvent arrêter indéfiniment la progression de la pensée ([Mugur-Schächter, 2006, pp. 118-138]).

Au cours de l'humble et fastidieux cheminement développé ici afin de construire l'infra-mécanique quantique, l'on a vu à quel point chaque pas sur un bref trajet de conceptualisation épistémologique-méthodologique d'un domaine particulier du réel physique, dépend des contraintes qui émanent de la situation cognitive impliquée, du but de la représentation recherchée – des *décisions* méthodologiques qui s'imposent face à cette situation cognitive et ce but, spécifiquement. Et l'on a vu qu'on ne perçoit la nécessité de l'une de ces décisions, que lorsqu'on se trouve tout à coup dans une impasse. Ce n'est qu'alors qu'on réalise vraiment l'importance des aspects épistémologiques et des aspects de *méthode*.

La microphysique actuelle souffre d'une crise d'absence d'une méthode épistémologique. Elle souffre plus encore de l'ignorance de l'existence de cette crise.

L'entière physique moderne est viscéralement travaillée par la nécessité d'engendrer à partir d'elle-même une méthode épistémologique élaborée en concordance avec son propre niveau de détail, de rigueur et de synthèse. Une méthode qui, dans chaque phase descriptionnelle du développement d'une représentation, puisse dicter explicitement les règles à respecter afin d'achever cette phase-là d'une manière consistante avec tous les présupposés qui y interviennent.

Il ne me semble pas exclu qu'une 'unification' de la physique actuelle ne puisse s'accomplir *que* dans un sens très différent de celui qu'on poursuit depuis des dizaines d'années. À savoir, par une *méthode* unitaire de construction des représentations quelconques de faits physiques. Une méthode qui, lors de chaque action descriptionnelle, distingue clairement tous les éléments auxquels cette action est relative, tous les éléments qui la

⁹⁸ C'est cela qui, dans la méthode générale de conceptualisation relativisée permet de démontrer que le 'réel-en-soi' n'est pas connaissable ([Mugur-Schächter, 2006, pp. 116-118]).

conditionnent localement ; et qui sépare nettement les uns des autres les actes successifs de conceptualisation, ainsi que, globalement, les niveaux de conceptualisation, selon une hiérarchie dictée par la générativité des processus successifs de conceptualisation. C'est dans la méthode de décrire que pourrait s'accomplir une unification. Dans le cadre d'une méthode descriptionnelle générale, chaque description particulière pourrait conserver pleinement les spécificités de son propre contenu, tout en se trouvant en relation explicitement définie avec les autres descriptions, via ses caractères de forme descriptionnelle.

On peut espérer que les résultats obtenus dans ce chapitre concernant les problèmes soulevés par *IMQ* se montreront utiles pour libérer également le formalisme mathématique de la mécanique quantique des problèmes 'd'interprétation' qui l'entachent. Car d'ores et déjà on peut percevoir que les problèmes examinés plus haut, tels qu'ils se manifestent face à la forme descriptionnelle $D_M/G, me_G, V_M/$ établie dans *IMQ*, concentrent en eux, distillée, l'essence des problèmes qui portent les *mêmes* dénominations et qui ont *d'abord* été formulés relativement au formalisme mathématique de la mécanique quantique, parce que ce formalisme s'est constitué et a été utilisé avant que sa manière de signifier ait été élucidée.

Conclusion de la première partie

Désormais nous considérons que *l'infra-[mécanique quantique]* est solidement acquise. Le processus de construction de cette représentation qualitative épistémophysique des microétats, a produit plusieurs résultats notables :

- Il a mis en évidence le rôle des *genèses conceptuelles* lors de la construction de connaissances et l'a soumis à des *normes* : ceci – en soi – est foncièrement nouveau.
- Corrélativement il a mis en évidence d'une manière frappante le fait général que les aspects *méthodologiques* ont un rôle essentiel au cours des conceptualisations humaines.
- *Il a fait apparaître – explicite et intégrée – une forme descriptionnelle normée $D_M/G, me_G, V_M/$ – reliée à sa genèse de manière organique.*
- La forme descriptionnelle $D_M/G, me_G, V_M/$ qui s'est constituée s'avère être *foncièrement relativisée* et elle pointe vers une strate primordiale de *l'entière* conceptualisation humaine, dont l'existence et les caractères contredisent le réalisme naïf des conceptualisations classiques et le postulat déterministe tel qu'il s'y associe.

Ce dernier trait indique que l'importance majeure de l'infra-mécanique quantique se place sur *un plan épistémologique absolument général*.

L'infra-[mécanique quantique] contient un germe d'universalité.

Le concept de description transférée primordialement statistique $D_M^o/G, me_G, V_M/$ est foncièrement distinct du concept d'une description au sens classique. Rien, dans la conceptualisation classique, ne conduit à concevoir une description ayant une genèse du type de celle rappelée par le symbole $D_M^o/G, me_G, V_M/$, ni la pensée et les langages courants, ni les grammaires, ni la logique, ni l'entière science classique, *avec ses mathématiques et notamment ses probabilités qui, elles aussi, sont marquées par le sceau de la pensée classique*. Les descriptions transférées primordialement statistiques restent implicites, cachées, *même dans le formalisme de la mécanique quantique*, bien que pour le cas particulier des microétats leurs caractéristiques ressortent avec une radicalité maximale.

Or ces descriptions transférées primordialement statistiques sont porteuses d'une révolution relativisante générale de la pensée, beaucoup plus profonde que celle introduite par les théories dites 'de relativité' d'Einstein qui ne relativisent *que les résultats des mesures d'espace et de temps*⁹⁹.

Mais ces caractères généraux des descriptions transférées primordialement statistiques ne sont pas développés dans ce travail. Leur développement et leurs conséquences ont fait l'objet de la Méthode générale de Conceptualisation Relativisée (MCR) citée dans l'introduction à la première partie, qui finit ici. Le travail présent est réservé exclusivement à un retraitement, spécifiquement, des descriptions *de microétats* qui rende intelligible le

⁹⁹ Cette affirmation a déjà été pleinement développée dans la méthode générale de conceptualisation relativisée ([2002a, 2002b, 2006]) et ses applications dans les domaines de la logique, des probabilités, de la théorie de l'information, du traitement des 'complexités', confirmant qu'il s'agit d'une approche relativisante qui approfondit et élucide, avec universalité.

formalisme quantique.

Donc, comme annoncé, dans la deuxième partie de ce travail, sur la base de *l'infra-mécanique quantique*, nous tenterons désormais de tracer les grandes lignes d'une reconstruction dotée d'intelligibilité et épurée de problèmes, de la formulation mathématique Hilbert-Dirac de la mécanique quantique.

Deuxième partie

Principes d'une 2^{ème} Mécanique Quantique

La construction qui suit est dédiée à

mon Maître Louis de Broglie

*qui a fondé la Mécanique Quantique et dont le modèle séminal d'un
microétat permet de re-fonder la théorie un siècle plus tard, presque*

« Seule une nouvelle construction peut ruiner et
remplacer une construction précédente. »

Auteur oublié dont la formulation
s'est inscrite dans ma mémoire

« Pour atteindre le point que tu ne connais point, tu dois
prendre le chemin que tu ne connais point. »

San Juan de la Cruz

Introduction à la deuxième partie

Le but de la deuxième partie de ce travail est de remplacer la formulation Hilbert-Dirac de la mécanique quantique – dénotée ici MQ_{HD} – par les principes d’une représentation des microétats qui soit véritablement intelligible de tous les points de vue qui interviennent, et qui par voie de conséquence soit débarrassée de ‘problèmes’.

Il ne s’agit donc nullement d’une nouvelle interprétation, ni de la forme finale d’une nouvelle théorie entièrement mathématisée.

Il s’agit – radicalement – d’une démarche critique-constructive qui, par référence à la structure opérationnelle-sémantique-méthodologique de l’Infra-Mécanique Quantique – IMQ – conduise à définir la *structure de principe* d’une représentation entièrement intelligible des microétats.

Afin de pouvoir d’emblée en parler sans détours inutiles, le résultat est baptisé à l’avance *principes d’une deuxième mécanique quantique* et il est dénoté $MQ2$.

Sans une utilisation systématique d’une structure de référence, extérieure à MQ_{HD} et spécifiquement appropriée, un processus de reconstruction comme celui que l’on tente dans ce qui suit, serait simplement inconcevable. Comme voulu d’emblée, IMQ jouera le rôle d’une telle structure.

Il est tautologique de dire qu’un processus essentiellement constructif ne peut pas être déductif au sens strict du terme. Bien entendu, l’on procédera par voie rationnelle. Mais celle-ci ne sera pas exclusivement déductive au sens de la logique formelle ou des mathématiques : des preuves interviendront à chaque pas, mais ce ne seront des preuves qu’au sens de la syllogistique courante.

De même, il est évident que pour le but spécifié il n’est ni nécessaire ni possible de considérer ici plus que les seuls fondements de MQ_{HD} . Toute complexification ou raffinement d’ordre purement mathématique – opérateurs bornés, problèmes soulevés par des spectres continus, etc. – seront donc entièrement ignorés. Seule l’essence sémantique-syntaxique de la nouvelle structuration sera recherchée. Mais celle-ci sera recherchée avec toute la rigueur permise par la nature de l’approche.

Enfin, la construction qui suit suppose que IMQ et MQ_{HD} sont toutes les deux très bien connues.

L’exposé n’aura donc nullement les caractères d’un manuel.

L’exposé qui suit ne s’adresse pleinement qu’aux physiciens utilisateurs de la mécanique quantique fondamentale et aux rares chercheurs et penseurs dans ce domaine. Et même relativement à ce public qui, d’emblée, est très restreint, il s’agira de faire face au

défi ingrat de convaincre, à l'intérieur d'un seul travail, des *problèmes* signalés – qui ne sont même pas tous connus en tant que problèmes, loin s'en faut – et des *solutions* proposées.

Toutefois la forme de l'exposé a été soumise au désir de permettre aussi à *tout lecteur qui s'est approprié IMQ*, de comprendre l'essence sémantique-syntaxique de la nouvelle représentation des microétats proposée ici : J'ai essayé de deviner et de signaler ouvertement les questionnements que l'exploration constructive présentée dans ce qui suit pouvait soulever dans l'esprit d'un scientifique non spécialisé en microphysique.

Dans l'exacte mesure où ce travail s'imposera à l'attention des physiciens, il exigera des développements ultérieurs.

La démarche présentée ici est foncièrement enracinée dans la factualité microphysique et dans l'opérationnalité conceptuelle-physique. Afin de développer cette démarche en accord avec ses substrats explicités dans *IMQ* il faudra descendre le formalisme mathématique actuel des ciels trop abstraits dans lesquels il s'est confiné, et en enraciner à fond les éléments dans le terrain microphysique factuel.

Au lieu de commencer par introduire des idéalités mathématiques (spectres continus et infinis, etc., etc.) que l'on doit ensuite rectifier partout par des approximations, il conviendra – *par principe* et dès le départ – de définir exclusivement des éléments descriptionnels qui, dans leur essence même, soient *effectifs* au sens des mathématiques modernes révolutionnées par l'informatique (Longo [2002], [2002c]). Il faudra reconcevoir l'entière construction mathématique, en termes qui, à la base, soient *discrets et finis*¹⁰⁰. À partir de là il est possible de s'approcher du continu et de l'illimité autant qu'il est utile et que l'on peut rester cohérent avec les concepts impliqués. En effet au concept de spectre continu l'on peut très avantageusement substituer un concept de spectres discrets et *finis* liés à des qualificatifs mécaniques des microétats qui, par construction, comportent la spécification d'*une unité de mesure définie* (de longueur, de temps, de quantité de mouvement, de masse, ou d'autres aspects), mais qui peut être choisie arbitrairement petite. Le continu observationnel intuitif, là où il est perçu comme un 'fait', pourra être alors regardé conceptuellement comme une limite inférieure qui est constructible en considérant des unités de plus en plus petites, en partant d'un spectre discret et en allant jusqu'à la *limite* inférieure où la validité même des concepts impliqués se dissout (par exemple la constante de Plank impose une limite inférieure domaine de signifiante de la notion de mesurabilité du temps intersubjectif, et donc aussi aux domaines de signifiante des concepts de vitesse ou de quantité de mouvement d'un 'mobile'). Quant aux infinis de différentes natures, le physicien peut utilement leur substituer des *finis* posés chacun comme pouvant a priori occuper un domaine arbitrairement étendu sur son axe de représentation sémantique. Ainsi les mathématiques classiques, qui s'assortissent *mal* avec le caractère non-classique de la conceptualisation des microétats, s'uniraient à des mathématiques modernes, discrètes et finies, effectives, intimement liées aux entités décrites et aux opérations physiques descriptionnelles.

Il faudra également réexaminer attentivement si oui *ou non* un concept de 'probabilité' doté d'*effectivité*, est *constructible* à l'intérieur même d'une théorie des microétats strictement première ([2014]). Un concept de probabilité à *proprement* dire, pas seulement le concept de statistique.

Etc.

¹⁰⁰La fondation de la *Méthode générale de Conceptualisation Relativisée (MCR)* ([2002a, 2002b, 2006]) – qui généralise les spécificités de la conceptualisation des microétats – est discrète et finie, et cette caractéristique a constamment joué un rôle important dans les élucidations et les unifications notables qui ont pu y être accomplies dans le cadre de cette méthode.

Mais les développements de cette sorte pourront être traités dans un cadre déjà explicitement structuré, celui dont nous traçons ici les grandes lignes. Et l'existence d'un cadre, même si ce cadre est encore dépourvu de toute la force qu'infusent les détails réglés, guiderait étroitement les élaborations subséquentes. C'est dire que j'espère vivement que l'exposé qui suit pourra offrir un terrain d'implantation qui leur semblera amélioré, aux auteurs des innombrables formulations critiques, ou de novations locales, qui ne cessent d'apparaître en relation avec la mécanique quantique fondamentale (*cf. la bibliographie dans Laloë [2001]; ?*); Holland [1993], Holland and Philippidis [2003], Holland [2005, 2010]; l'entière école de Broglie-Bohm; Svozil [2012, 2014]; Abbott et al. [2014a]; Haven and Khrennikov [2013]; Dalla Chiara et son école etc., etc.).

D'une manière tout à fait générale, annonçons haut et fort que, si l'on accepte ce travail, il faudra désormais expliciter d'emblée, et inter-connecter correctement, toutes les *relativités descriptionnelles* qui, forcément, *interviennent* dans les descriptions de microétats offertes par la mécanique quantique actuelle, dans la mesure même où celle-ci est pertinente. En effet :

IMQ a mis en évidence ce fait frappant qu'une description strictement première des microétats possède une structure épistémique-sémantique générale $D/G, me_G, V/$ qui est *fondièrement* relative aux opérations cognitives qui l'engendrent.

Or tout physicien de la mécanique quantique perçoit d'emblée, avant toute analyse plus poussé, que cette forme descriptionnelle relativisante $D/G, me_G, V/$ mise en évidence dans *IMQ*, reste encore entièrement non explicitée dans le formalisme mathématique de la mécanique quantique actuelle. Ce fait, d'ailleurs, est paradigmatique : Lorsqu'une nouveauté conceptuelle essentielle se manifeste dans une création humaine, souvent elle s'y manifeste d'abord masquée dans des habits provisoires d'apparence familière. Car souvent les concepteurs eux-mêmes n'isolent pas immédiatement dans leur esprit l'entière nouveauté qu'ils ont produite. Alors, sous l'empire d'un besoin urgent de mise en cohérence *protective*, ils s'efforcent d'incorporer au maximum à ce qui est déjà connu et admis, les spécificités, qu'eux-mêmes perçoivent encore comme des points d'interrogation qui vacillent sur quelques anomalies locales. Cependant que la perception globale et claire de l'entière nouveauté qui a émergé, et des connexions spécifiquement appropriées, nouvelles elles aussi, qui peuvent véritablement réaliser une mise en cohérence radicale et bien définie, demandent du temps pour prendre contour et se construire.

Le processus a la même nature qu'une évolution larvaire. La métamorphose de l'habit ne peut se produire que plus tard, au bout d'une phase de croissance de la larve, lorsqu'elle finit par fissurer la carapace initiale de protection.

4

Rappel sommaire de MQ_{HD}

Avertissement. Dans ce chapitre nous employons de façon *acritique* les manières de dire qui sont courantes actuellement.

Le but de ce travail étant exclusivement de construire, par référence à IMQ , une représentation conceptuelle-mathématique des microétats qui soit pleinement intelligible, le rappel de ce chapitre concerne exclusivement les fondements de la MQ_{HD} (ses ‘éléments’). Toute complexification calculatoire pourra être utilisée, reformulée ou inventée plus tard, relativement à la nouvelle structure représentative qui se sera constituée. Nous n’introduisons ce rappel qu’afin de pouvoir exprimer l’investigation constructive qui suit, en milieu auto-suffisant du point de vue du langage et des notations. Ce rappel du formalisme MQ_{HD} actuel ne pourra donc fonctionner que comme un grossier ‘pointage du doigt’ vers un connu présumé et beaucoup plus ample. Pour tout détail nous renvoyons à des exposés didactiques classiques¹⁰¹.

4.1. Les outils mathématiques

Espaces de ket et de bra¹⁰². On travaille avec deux espaces de représentation distincts, tous les deux vectoriels :

- Un espace vectoriel généralisé \mathcal{E} qui contient des objets abstraits dénommés *ket* et dénotés $|\rangle$ ¹⁰³. Un ket est peuplé soit par une fonction en général complexe $u_j(x)$ d’une variable de position qui est dite état propre d’un opérateur quantique, soit par une fonction d’état (ou d’onde¹⁰⁴). En général le module carré d’une fonction propre n’est pas intégrable. Une *fonction d’état* $\psi(x,t)$ est une fonction complexe des variables réelles (x,t) , dont la forme générale est posée a priori être ‘ondulatoire’, $\psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$, avec l’amplitude $a(x,t)$ et la phase $\varphi(x,t)$ des fonction réelles des variables réelles (x,t) de position et de temps ; $\psi(x,t)$ est de module carré intégrable et l’on peut en exiger d’emblée une norme 1 qui prépare a priori une compatibilité formelle avec le concept d’une mesure de probabilité.

- Le sous-espace de l’espace \mathcal{E} qui contient exclusivement des *ket d’état* $|\psi(x,t)\rangle$ est un *espace Hilbert* \mathcal{H} fini ou infini, de fonctions complexes de variables réelles ayant la forme ondulatoire mentionnée.

¹⁰¹L’exposé le plus utilisé est celui de Cohen-Tannoudji, Diu, and Laloë [1973], (*CTDL*). D’autres sources consultées sont les suivantes : Bohm [1951] ; Preskill [1998] ; Peres [1995] ; Gottfried [1966] ; Eisele [1969] ; Landau and Lifshitz [1959]. Et aussi, bien entendu, les exposés fondateurs de von Neumann [1955] et de Dirac [1958].

¹⁰²Dans ce qui suit ces mots ne prennent pas de pluriel.

¹⁰³Les écritures mathématiques de ce chapitre n’introduisent qu’une seule dimension spatiale. Cela suffit pour le but de cet exposé qui ne vise que des traits fondamentaux. Plus généralement, tous les détails formels disponibles seront *omis* dans l’exacte mesure où ils ne touchent pas l’objectif d’élucidation et de complétion posé ici.

¹⁰⁴Dénomination à racines historiques qui crée des confusions sans fin.

C'est l'adjonction à \mathcal{H} , des ket propres $|u_j(x)\rangle$ de module carré non-intégrable, qui à conduit à l'espace généralisé \mathcal{E} des kets quelconques.

- Un espace dual \mathcal{E}^* qui contient des objets abstraits dénommés *bra*¹⁰⁵ et dénotés $\langle |$, peuplés chacun par une fonctionnelle linéaire χ définie sur les kets de \mathcal{E} .

Les relations entre les espaces \mathcal{E} et \mathcal{E}^* sont définies en détail. Notamment, à tout ket donné $| \rangle$ correspond un certain bra $\langle |$ et vice versa.

Avec toute paire contenant un ket $|1\rangle$ et un bra $\langle 2|$ ('1' et '2' indiquent ici des fonctions) on peut former un *braket* $\langle 2|1\rangle$ qui est un nombre complexe (ou produit scalaire) calculable selon les règles de l'analyse mathématique à l'aide d'une intégrale où interviennent avec formes explicites les fonctions dénotées '1' et '2'.

Opérateurs et espace d'opérateurs. Observables. Aussi bien sur \mathcal{E} que sur \mathcal{E}^* on définit des opérateurs linéaires $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \dots$. L'effet d'un tel opérateur est de changer l'élément, ket ou bra, sur lequel il agit. L'algèbre de ces opérateurs est en général non-commutative.

Un opérateur \mathbf{A} engendre une équation correspondante $\mathbf{A}|u_j(x)\rangle = a_j|u_j(x)\rangle$, $j = 1, 2, \dots$ ¹⁰⁶ qui détermine mathématiquement la famille $\{u_j(x)\}$ des fonctions propres de \mathbf{A} et la famille $\{a_j\}$ des valeurs propres correspondantes – des nombres complexes ou réels – qui constituent le spectre de \mathbf{A} . La famille $\{u_j(x)\}$ des fonctions propres d'un opérateur quantique \mathbf{A} peut toujours être orthogonalisée. On dit alors qu'elle est *ortho-normée au sens de Dirac* – cela malgré le fait qu'en général il n'y ait *pas* normabilité.

Certains parmi les opérateurs de MQ_{HD} sont hermitiques, i.e. leurs valeurs propres sont des nombres réels. Si, en outre du caractère hermitique, la famille $\{|u_j\rangle\}$ des kets propres orthonormés de l'opérateur hermitien \mathbf{A} considéré constitue une base dans \mathcal{E} , i.e. si elle satisfait à la *relation de fermeture* $\sum_i |u_i\rangle \langle u_i| = \mathbf{1}$ où $\mathbf{1}$ est l'opérateur unité, alors \mathbf{A} est une *observable*.

Tout opérateur hermitien 'dynamique' (mécanique) est une observable, mais pas toute observable est un opérateur dynamique.

L'ensemble des opérateurs quantiques constitue lui aussi un espace vectoriel que l'on peut dénoter \mathcal{O} .

Produits tensoriels de sous-espaces de représentation d'état. Lorsque le problème considéré implique, soit plus d'un seul 'système'¹⁰⁷, soit une observable qui comporte plusieurs espaces de représentation, le sous-espace global de représentation mis en œuvre pour ce problème est représenté par un produit tensoriel des différents sous-espaces de représentation qui interviennent. Et dans le sous-espace de représentation global, le formalisme assigne un *seul* ket d'état au microsystème étudié, qu'il s'agisse de l'une ou de l'autre des situations mentionnées.

¹⁰⁵Ce mot, comme le mot 'ket', ne prend pas de pluriel : Ces deux mots proviennent de la séparation en deux sous-mots du mot anglais bracket, la lettre c étant supprimée.

¹⁰⁶Les notations utilisées dans ce travail, pour simplicité – *mais aussi pour des raisons spécifiques de principe* (cf. l'introduction à la deuxième partie) – correspondent au cas d'ensemble d'indices *discrets*.

¹⁰⁷Les concepts *IMQ* de 'microétat de un système' et 'microétat de plusieurs systèmes' ne sont pas définis explicitement dans *MQ_{HD}*, ni, *a fortiori*, explicitement distingués l'un de l'autre et classés selon la nature de leurs contenus sémantiques.

4.2. Les calculs dans $(\mathcal{E}, \mathcal{E}^*)$

Calcul MQ_{HD} non-référentiel (absolu). A l'aide de l'association d'espaces dénotée ici $(\mathcal{E}, \mathcal{E}^*)$, MQ_{HD} définit un calcul algébrique-analytique *absolu* (i.e. où aucune base n'est explicitée). Les ket, les bra et les opérateurs sont définis d'abord d'une manière *non-référentielle* (comme par exemple les figures de la géométrie euclidienne). Même le contenu et la structure analytique des entités formelles qui peuplent les éléments de calcul – ket et bra – peuvent rester seulement symbolisés mais *non spécifiés*. En ce cas, seulement la structure formelle générale est donnée (par les définitions générales d'une fonction 'propre' ou une fonction d'état). Mais on *peut* également spécifier la forme des fonctions impliquées et effectuer jusqu'au bout les calculs selon l'algèbre et l'analyse mathématique.

Ce calcul absolu est développé sur le fondement constitué par : L'existence d'une opération d'addition (imposée par la structure *algébrique* d'espace vectoriel); la définition d'un produit scalaire défini en termes de 'braket' $\langle | \rangle$ constitués d'un bra et d'un ket, chacun peuplé par un élément de $E \cup \mathcal{E}^*$ et effectivement calculable via l'analyse mathématique lorsque les contenus du braket sont explicités; par l'algèbre en général non-commutative non-commutative définie sur l'espace \mathcal{O} des opérateurs.

Calcul MQ_{HD} référentiel à une base donnée : la formulation matricielle de Heisenberg-Dirac. A partir du calcul MQ_{HD} absolu indiqué plus haut, on peut passer dans un calcul référentiel à une base donnée de \mathcal{E} (comme on le fait en géométrie analytique lorsqu'on réfère les écritures aux vecteurs unités d'un système d'axes de coordonnées). Cela permet des caractérisations en termes de *nombres* (des valeurs numériques de composantes d'un ket sur un axe portant un élément d'une base, ou angles, ou éléments de matrices, etc.).

La connexion entre représentation formelle et données factuelles se fait en référant la représentation à une base posée dans E .

On peut passer d'une base dans une autre base.

4.3. 'Principes'

Le 'principe' de superposition des kets. Les kets $| \rangle$ – comme les éléments de tout espace vectoriel – satisfont à un 'principe' de *superposition* selon lequel toute combinaison linéaire de kets est un ket. Dans un ket de superposition $|12\rangle = \lambda_1 |1\rangle + \lambda_2 |2\rangle$ (avec λ_1 et λ_2 des nombres en général complexes) les deux termes peuvent 'interagir', en *ce* sens que, si ils ne sont *pas* orthogonaux, alors dans le module carré de $|12\rangle$ apparaissent – par rapport à une simple addition – des termes supplémentaires 'interférence'. Il en découle que, en général, *le module carré d'une superposition de kets n'est pas la somme des modules carrés des kets superposés.*

Si, en particulier, les deux kets superposés $|1\rangle$ et $|2\rangle$ sont deux kets appartenant à la base d'un même opérateur \mathbf{A} , alors ils sont orthogonaux par construction et le terme d'interférence s'annule, donc dans ce cas il n'y a *pas* d'interaction d'interférence.

Mais si les deux kets superposés sont des kets d'état $|\psi_1\rangle$ et $|\psi_2\rangle$ de l'espace Hilbert \mathcal{H} contenu dans \mathcal{E} , alors on est en présence d'un *état de superposition* $|\psi_{12}\rangle = \lambda_1 |\psi_1\rangle + \lambda_2 |\psi_2\rangle$ où, en général, $|\psi_1\rangle$ et $|\psi_2\rangle$ ne sont pas orthogonaux, et en ce cas il y a interférence dans la structure du module carré de $|\psi_{12}\rangle$ et l'on dit que $|\psi_{12}\rangle$ est un *état d'interférence*.

Le 'principe' de décomposition spectrale. Amplitudes de probabilité. Selon ce principe, si \mathbf{A} est une *observable* alors *tout* ket peut être représenté sous la forme d'une expansion selon les kets de la base des ket propres de \mathbf{A} . Notamment donc, un ket d'état $|\psi(x, t)\rangle$

peut être représenté sous la forme d'une expansion $|\psi(x,t)\rangle = \sum_j c_j |u_j(x,t)\rangle$ selon les kets de la base constituée par la famille $\{|u_j(x)\rangle\}$ des ket propres de \mathbf{A} .

Dans l'expression décomposée $|\psi\rangle = \sum_j c_j |u_j\rangle$, $j = 1, 2, \dots$, du ket d'état $|\psi\rangle$ qui est écrite face à la base $\{|u_j\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots$ introduite par une observable \mathbf{A} , les coefficients d'expansion c_j sont des nombres complexes calculables par les braket $\langle u_j | \psi \rangle = \sum_j c_j \langle u_j |$. Ces coefficients d'expansion sont appelés des *amplitudes de probabilité* (dans $|\psi\rangle$ et face à \mathbf{A}).

Le principe de décomposition spectrale est le pivot du passage du calcul MQ_{HD} absolu, au calcul MQ_{HD} référé à une base donnée.

4.4. Transformations de base

La théorie des transformations de base de Dirac. Le calcul des transformations de Dirac établit les formules de traduction des expressions des ket, bras et opérateurs qui interviennent, écrites d'abord relativement à une 'base' initiale donnée $\{|u_j\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots$, en leurs expressions relativement à une autre base $\{|t_k\rangle\}$, $k = 1, 2, \dots$. *Le pivot de ces traductions, internes au calculs MQ_{HD} référés, est la matrice dont les éléments sont $S_{ki} = \langle t_k | u_i \rangle$.* Les algorithmes font usage des relations de fermeture appliquées aux ket propres, $\sum_i |u_i\rangle \langle u_i| = \mathbf{1}$ et $\sum_k |t_k\rangle \langle t_k| = \mathbf{1}$. Notamment, ils transforment conformément à la relation de transformation $d_k = \langle t_k | \psi \rangle = \sum_i \langle t_k | u_i \rangle \langle u_i | \psi \rangle = \sum_j S_{jk} c_j$, les coefficients c_j de l'expansion $|\psi\rangle = \sum_j c_j |u_j\rangle$ d'un ket d'état $|\psi\rangle$ sur les ket propres introduits par la base $\{|u_j\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots$ d'une observable \mathbf{A} , dans les coefficients d_k de l'expansion $|\psi\rangle = \sum_k d_k |t_k\rangle$ du même ket $|\psi\rangle$ sur la base $\{|t_k\rangle\}$, $k = 1, 2, \dots$ de ket propres d'une observable \mathbf{B} ¹⁰⁸.

4.5. Postulats

4.5.1. Les postulats de représentation

* *Le postulat de représentation d'un microétat.* Un microétat peut souvent être représenté par un ket d'état $|\psi(x,t)\rangle$. En un tel cas on dit qu'il s'agit d'un état pur.

Pourtant il existe des cas où l'on dit que : « on ne dispose pas des informations nécessaires pour assigner 'au système étudié' un ket d'état, et que par conséquent on est contraint de considérer un *mélange d'états purs* ». Mais que néanmoins « dans tous les cas il est possible d'associer au microsystème étudié un *opérateur (ou matrice) densité* qui permet des prévisions aussi précises que possible dans les circonstances considérées ».

* *Le postulat de représentation d'une grandeur mécanique classique mesurable.* Une grandeur mécanique mesurable classique \mathbf{A} , est redéfinie pour un microétat en la représentant par une observable correspondante $\mathbf{A}(A)$ via une 'règle de quantification'¹⁰⁹ *construite en symétrisant d'abord sa représentation classique via une fonction de la position x et la quantité de mouvement p_x , et en remplaçant ensuite le symbole p_x par l'opérateur $(\hbar/2\pi)i.d/dx$, et le symbole x par l'opérateur \mathbf{X} multiplicatif (\mathbf{X} .)* (CTDL [1973, pp. 222–225]).

Certaines observables de MQ_{HD} ne proviennent pas de la mécanique classique (le

¹⁰⁸Nous ne reproduisons pas les expressions bien connues référées à une base, des bra et des opérateurs, qui complètent l'univers formel des calculs quantiques référés.

¹⁰⁹Rappelée ici pour une seule dimension.

cas du *spin*, par exemple) et alors l'opérateur respectif est défini directement dans MQ_{HD} .

4.5.2. Le postulat d'évolution

Dans la mécanique quantique non-relativiste on postule qu'un ket d'état $|\psi(x,t)\rangle$ évolue conformément à l'équation linéaire de Schrödinger

$$(i/\hbar)(d/dt)|\psi(x,t)\rangle = \mathbf{H}(t)|\psi(x,t)\rangle$$

où, dans le milieu où ce microétat subsiste et évolue, \mathbf{H} est l'opérateur hamiltonien de l'énergie totale du microétat étudié. Le ket d'état initial, $|\psi(x,t_0)\rangle$, doit être **donné en tant que représentation des conditions initiales**.

Ces traits, plus ou moins explicitement, sont regardés quasi unanimement comme des assertions liées à certains caractères fonciers, notables et inexpiés, de MQ_{HD} .

4.5.3. Les postulats de mesure

La présentation qui suit concerne la représentation *de base* des processus de mesure quantiques (spectres discrets et non-dégénérés). Elle ne tient compte d'aucune des multiples nuances que l'on peut faire (spectres continus, dégénérescences, mesures idéales, indirectes, destructrices, etc.), ni de la question des 'mesures successives' (cf. *CTDL*)¹¹⁰.

Nous indiquons d'abord l'approche initiale du point de vue historique. La reformulation de von Neumann n'est mentionnée qu'au dernier point.

* *Le postulat des valeurs observables* selon lequel la mesure d'une grandeur physique A qui est représentée par l'observable \mathbf{A} , ne peut avoir comme résultat que l'une des valeurs propres a_j de l'observable \mathbf{A} ¹¹¹.

* *Le postulat prévisionnel de probabilité (le postulat de Born)* selon lequel, lorsqu'on mesure la grandeur physique A sur un microétat représenté par le ket d'état $|\psi\rangle$, la probabilité $p(a_j)$ d'obtenir la valeur propre a_j est $p(a_j) = |\langle u_j|\psi\rangle|^2 = |c_j|^2$ où c_j est le coefficient d'indice j de l'expansion $|\psi\rangle = \sum_j c_j |u_j\rangle$ de $|\psi\rangle$ sur la base des fonctions propres $|u_j\rangle$ de l'opérateur $\mathbf{A}(A)$ qui représente la grandeur dynamique A .

* *Le postulat de projection ou de réduction du ket d'état* selon lequel, si l'on a opéré une mesure d'une grandeur mécanique A représentée par l'observable \mathbf{A} , sur un microétat dont le ket d'état était $|\psi\rangle$ et si le résultat de cette mesure est la valeur propre a_j de \mathbf{A} , alors l'état du microsystème étudié, immédiatement après la mesure, est représenté par la projection normée $[P_j|\psi\rangle]/\sqrt{\langle\psi|P_j|\psi\rangle}$ du ket d'état $|\psi\rangle$ sur le ket propre $|u_j\rangle$ correspondant à a_j , où P_j est un opérateur de projection sur $|u_j\rangle$ ¹¹².

* *La théorie des mesures de von Neumann*. Selon cette théorie le processus de mesure doit être représenté par l'évolution d'un ket d'état associé au système *global* constitué par [le microsystème étudié + l'appareil de mesure utilisé], décomposé sur la base introduite par l'observable mesurée. Un tel ket introduit donc un espace construit par composition tensorielle des espaces correspondant au microétat étudié et à l'appareil impliqué.

¹¹⁰Pour le développement qui suit cela suffit, car le nœud du problème se trouve ailleurs.

¹¹¹Ce postulat *accorde* à la description globale qui s'établit directement et exclusivement au niveau de description *statistique*, une spécification qui, elle, concerne le niveau de description *individuel*. Notons en outre que lorsque – selon MQ_{HD} – le spectre considéré est continu (comme c'est le cas pour la plupart des microétats progressifs), ce postulat ne comporte aucune restriction informative.

¹¹²Le fait qu'en général le ket propre $|u_j\rangle$ n'est pas intégrable en module carré cependant qu'un ket d'état $|\psi\rangle$ est requis être intégrable en module carré, n'est pas en compte dans ce postulat. (Concernant des mesures successives voir (*CTDL* [1973, pp. 231-233])).

4.6. Problèmes

Nous énumérons ci-dessous les ‘problèmes’ les plus discutés, que nous séparons, grosso modo, en deux catégories :

- problèmes mathématiques-conceptuels internes au formalisme, et locaux ;
- problèmes d’‘interprétation’ conceptuels et globaux (qui concernent le formalisme tel qu’on le perçoit globalement de son extérieur).

4.6.1. Les problèmes mathématiques-conceptuels internes à MQ_{HD}

* *Le problème des kets propres non-normés.* En général l’intégrale du module carré des kets propres d’un opérateur dynamique, diverge. Certains auteurs considèrent ce fait comme un *problème* auquel ils font face à l’aide de *solutions d’approximation* en termes de différentielles propres au sens de Schwartz (CTDL [1973, pp. 111-114]). D’autres auteurs ne regardent pas ce fait comme un problème et y font face à l’aide de définitions ad hoc (cf. Dirac, réf. 110, p. 48). D’autres auteurs ignorent ce problème.

* *Le problème du nombre de dimensions de l’espace d’évolution Schrödinger d’un ket d’état.* L’évolution Schrödinger d’un ket d’état se poursuit dans l’espace de configurations introduit par ce ket, dont le nombre de dimensions est en général plus grand que 3. Cela soulève des questions concernant la signification du concept de fonction d’état.

* *Non-séparabilité.* Il a été mentionné qu’en certains cas le formalisme quantique ne définit pas le ket d’état dont on aurait envie de pouvoir bénéficier (les formulations courantes impliquées dans de tels cas sont celles déjà citées dans 4.1 (les derniers points, concernant les produits tensoriels d’espaces’ et ‘matrice densité’). Ces traits, plus ou moins explicitement, sont regardés quasi unanimement comme des caractères notables et *inexpliqués* de MQ_{HD} .

* *Le problème – majeur – des mesures quantiques : ‘Réduction du paquet d’ondes’.* Le problème mathématique-conceptuel *majeur* – qui s’est manifesté dès la naissance du formalisme et a évolué à travers un nombre d’avatars sans jamais se dissoudre – concerne les algorithmes de représentation des interactions de mesure. On désigne ce problème comme *le problème de la réduction du paquet d’ondes*.

L’exposé de ce problème est en essence le suivant (nous considérons ici la théorie initiale des mesures quantiques (pas celle de von Neumann) car déjà celle-ci capte toute l’essence du problème).

Soit un microétat donné, et soit $|\Psi\rangle$ le ket d’état qui le représente, qui subit une évolution Schrödinger définie par un hamiltonien H . On veut mesurer sur le microétat étudié, la valeur propre a_j d’une observable A , à un moment t_1 de l’évolution de $|\Psi\rangle$ quand le microétat est donc représenté par le ket d’état $|\Psi(t_1)\rangle$. Selon l’algorithme de représentation mathématique des processus de mesure, l’on doit alors procéder de la manière suivante. L’on écrit $|\Psi(t_1)\rangle$ sous la forme $|\Psi(t_1)\rangle = \sum_j c_{j,t_1} |u_j\rangle$ de la décomposition spectrale de $|\Psi(t_1)\rangle$ sur la base des ket propres $|u_j(a_j)\rangle$ et des valeurs propres a_j correspondantes de l’observable A que l’on veut mesurer, et l’on soumet *le ket d’état* ainsi représenté, à une ‘évolution de mesure’ produite par un hamiltonien $H(A)$ qui commute avec l’observable A . L’équation d’évolution de Schrödinger étant linéaire, tous les termes de la ‘superposition’ $|\Psi(t_1)\rangle = \sum_j c(t_1) |u_j\rangle$ subsistent au cours de cette entière évolution. Néanmoins l’évolu-

tion s'achève par l'enregistrement d'une seule valeur propre a_j de l'opérateur \mathbf{A} , associée à un seul terme $c(t_1) |u_j\rangle$. Et l'un des postulats de mesure affirme que cet enregistrement projette la superposition $\sum_j c(t_1) |u_j\rangle$ sur un seul ket de base $|u_j\rangle$, en reflétant ainsi le fait que le résultat de la mesure consiste en la valeur propre correspondante a_j de l'observable \mathbf{A} mesurée et que le microsysteme acquiert le nouveau microétat (propre) $|u_j\rangle$ engendré par cette projection.

Or l'on considère que cela n'est pas compatible avec les mathématiques linéaires du formalisme quantique qui, elles, on l'a mentionné, conservent *tous* les termes de la 'superposition' $|\Psi(t_1)\rangle = \sum_j c_{j,t_1} |u_j\rangle$; car :

« où disparaissent les autres termes, et par quelle sorte de processus, représenté comment en termes mathématiques » ?

Est-ce que, en fait, « le formalisme exigerait *deux* lois d'évolution, une loi d'évolution linéaire représentée par l'équation de Schrödinger, et une *autre* loi de réduction finale abrupte du paquet d'ondes $\sum_j c_{j,t_1} |u_j\rangle$, au seul terme $c_{j,t_1} |u_j\rangle$ représentée par la projection de $|\Psi(t_1)\rangle = \sum_j c_{j,t_1} |u_j\rangle$ sur un seul ket de base $|u_j\rangle$ » ? (cf. Laloë [2001] pour un exposé beaucoup plus analyse de ce problème central).

Ceci était la phase initiale du problème. Une phase *subséquente* concerne la représentation de von Neumann du processus de mesure, où l'essence du problème subsiste : Selon la théorie des mesures de von Neumann l'on considère et l'on représente en termes du formalisme de MQ_{HD} l'évolution du ket d'état du système global constitué par le microsysteme étudié *et* l'appareil de mesure. Alors la question de la réduction du ket d'état se complexifie et incorpore un problème de 'décohérence' : dans l'opérateur densité du système global, apparaissent certains termes qui devraient ne pas intervenir, et surtout, ne pas y rester. Mais il a été démontré par des calculs très longs que ces termes se réduisent 'très vite' en importance numérique, par 'décohérence'. Pourtant ils ne disparaissent qu'asymptotiquement.

4.6.2. *Problèmes extérieurs de relation entre MQ_{HD} et son environnement conceptuel*

* *Les questions de complétude et ontologique, versus déterminisme.* MQ_{HD} est une théorie probabiliste et l'on soutient qu'elle serait rigoureusement pure de tout modèle de microétat. Pourtant certains auteurs considèrent que ce formalisme « décrit des microétats individuels », cependant que d'autres s'expriment systématiquement en termes d'*ensembles* de microétats. Depuis la naissance de la mécanique quantique cette situation, et ses relations avec le concept de déterminisme, n'a jamais cessé de susciter des questions.

* *La séparation quantique-classique.* Quelle est la définition de la frontière entre la théorie quantique des microétats, et les théories de la physique classique ?

* *La 'justification' des probabilités quantiques.* Cette question est récente, et elle n'est pas très claire en tant que question. On voudrait montrer que l'algorithme de Born est *déductible* d'autres assertions moins fortes¹¹³.

* *La relation entre MQ_{HD} et les théories de la relativité d'Einstein.* Pour quelle raison

¹¹³Raichmann [2003] (ce travail offre un compte rendu intéressant, associé à l'essence de la bibliographie à ce sujet jusqu'en 2003).

n'arrive-t-on pas à construire *une MQHD relativiste au sens d'Einstein* qui soit clairement satisfaisante ? On s'y efforce depuis des dizaines d'années.

* *La question de la modélisation des descriptions de microétats construites dans MQHD*, que certains osent soulever, cependant qu'ils ne la considèrent pas comme étant entièrement résolue par les travaux de de Broglie, de Bohm, et de leurs élèves.

5

Comparaisons préparatoires globales entre *IMQ* et *MQ_{HD}*

5.1. Comparaison neutre de *IMQ* et *MQ_{HD}*

5.1.1. Comparaison des structurations globales de *IMQ* et *MQ_{HD}*

5.1.1.1. *IMQ* : contenus opérationnels-épistémologiques-méthodologiques, organisation conceptuelle explicite et étagée¹¹⁴

Dans *IMQ* l'on a essayé de déclarer, dénommer et symboliser chaque contenu sémantique de chaque élément descriptionnel, aussitôt qu'il intervenait. Ainsi l'on a exposé progressivement à tous les regards comment les contenus sémantiques des descripteurs partiels ont progressivement commandé la genèse de la paire $[(D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), Mlp(me_G)]$ des deux descripteurs finals des connaissances statistiques-probabilistes prévisionnelles acquises concernant le microétat étudié. Ces descripteurs partiels ont été intégrés – tous et avec détail et précision – dans le concept unifiant d'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ du microétat me_G étudié :

¹¹⁴Ce qui suit importe dans la deuxième partie l'essence de *IMQ* qui y sera d'utilité majeure : c'est donc répétitif.

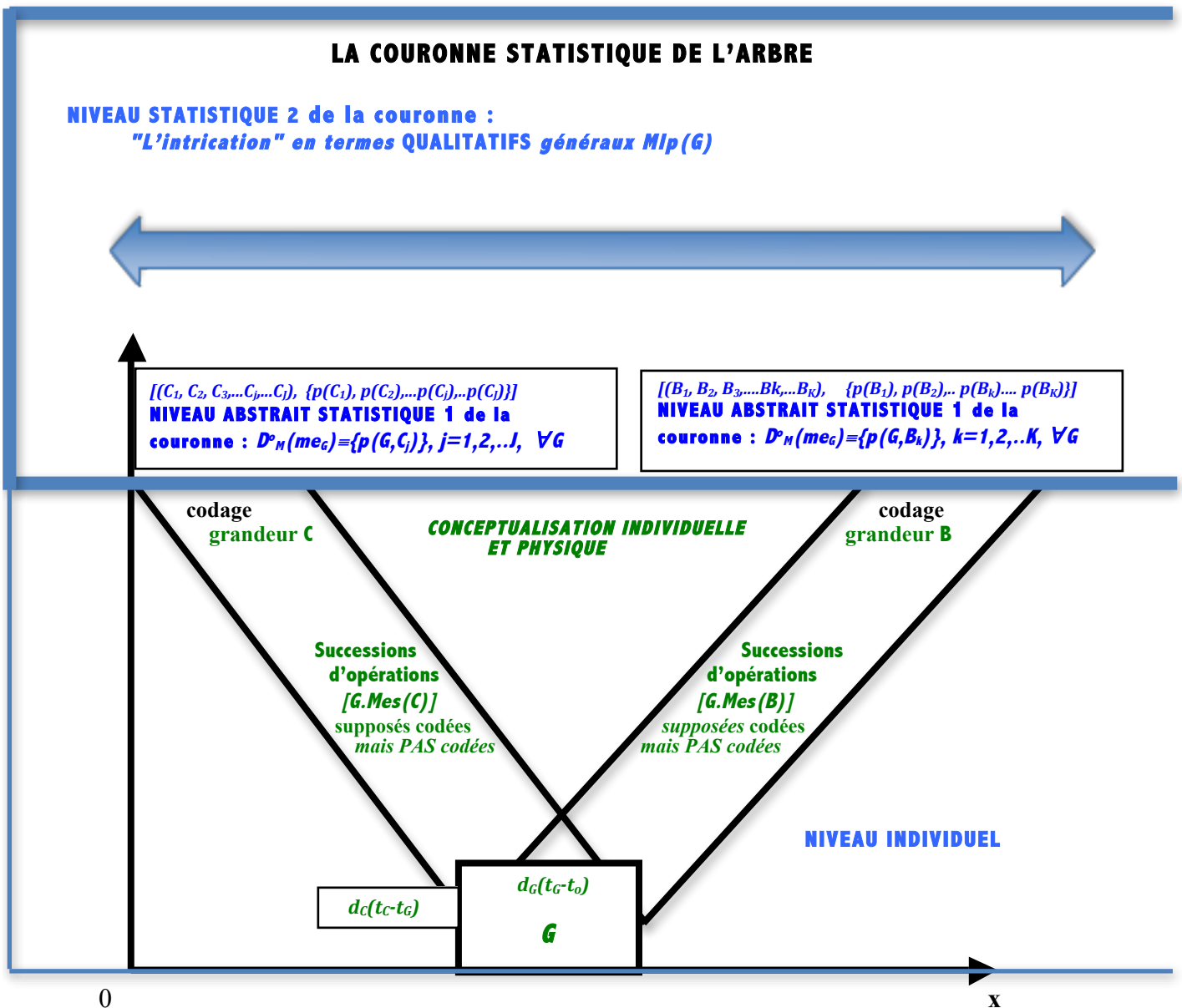


Fig. 5: Un arbre de probabilité $T[G, (V_M(B) \cup V_M(C))]$ de l'opération de génération G d'un microétat me_G .

Dans la structure d'un arbre $T(G, V_M)$ le niveau de conceptualisation *individuel* est distingué radicalement du niveau de conceptualisation *statistique-probabiliste*, et en chacun de ces deux cas, une nature factuelle est distinguée d'une nature conceptuelle.

Le niveau de conceptualisation individuel et conceptuel-physique est logé d'abord dans le tronc où il implique le trio de descripteurs $(G, me_G, G \leftrightarrow me_G)$, enraciné dans du réel physique encore a-conceptuel. Puis il investit les branches qui contiennent des successions individuelles et physiques $[G, Mes(X)]$. Une branche de $T(G, V_M)$ est liée à une grandeur mécanique X donnée et aux grandeurs compatibles avec X (au sens individuel précisé dans 2.5.3.2 que l'on peut dénoter $(cX)_m$ avec m un indice qui peut être nul ou sinon prend un petit nombre de valeurs¹¹⁵). Là s'accomplissent les actes individuels de

¹¹⁵Celles-ci constituent une variante plus définie du concept MQ_{HD} de 'ECOC'.

$Mes(X)$ et émergent les enregistrements correspondants d'un groupe de marques physiques observables. Tout cela est de nature conceptuelle-physique.

Ensuite doit s'opérer le codage $Cod(G, X)$ (2.3.2.3) de tout groupe de marques enregistré par un acte de $Mes(X)$, en termes d'une valeur et une seule de la grandeur X mesurée. L'opération de codage correspondant à une branche donnée – un processus encore individuel mais qui n'est plus physique, qui est déjà conceptuel-calculatoire – distingue entre les éléments de l'ensemble compatible $\{X, cX_m\}$ (cf. la note liée à la dernière ligne de 2.5.3.2).

Et ce sont les *dénombrements* des résultats individuels des opérations de décodage – classés selon la valeur de la grandeur X considérée – qui sont placés dans la couronne abstraite statistique-probabiliste de l'arbre $T(G, V_M)$: Ainsi la phase de décodage insère une distance entre le niveau de représentation individuel et physique qui occupe le tronc et les branches de l'arbre, et le niveau de représentation statistique-probabiliste qui en occupe exclusivement la couronne statistique-probabiliste, marquant une distinction radicale.

À son tour le contenu purement abstrait de la couronne statistique-probabiliste est disposé sur deux autres sous-niveaux de conceptualisation mutuellement distingués :

- Sur un premier niveau statistique-probabiliste de la couronne, au-dessus de la branche liée à l'ensemble $\{X, cX_m\}$ des grandeurs compatibles avec une grandeur X donnée, sont placés les univers d'événements élémentaires $U(X_j)$ et $U(cX_k)$ et les espaces de probabilité de Kolmogorov (cf. 2.6.1.3) correspondants, qui pour simplicité sont tous indiqués par la notation unique $[U(X_j), \tau(U(X_j)), p[\tau(U(X_j))]]$ où l'on fait abstraction des valeurs de l'indice 'm' de cX_m . Et cet espace comporte enfin une 'description' du microétat étudié me_G , i.e. une connaissance communicable de cette entité, dotée d'une certaine stabilité et qui lui est liée explicitement, dans le sens défini dans 2.5.4. A savoir la description 'proprement dite' partielle $D_X^o \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$, pour une paire (G, X) donnée, qui fonde une classe de prévisibilité probabiliste. Donc l'ensemble de toutes les branches de $T(G, V_M)$ introduit sur le premier niveau statistique-probabiliste de l'arbre, l'ensemble de toutes les descriptions partielles de cette sorte, $D_M^o \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$, qui composent la 'base de la couronne', son support discret de prévisibilité statistique-probabiliste, fondé branche par branche, qui inclut *toutes* les grandeurs mécaniques redéfinies pour des microétats que l'on a voulu considérer.

- Et en outre, en conséquence de leur origine commune symbolisée dans le tronc commun de l'arbre lié à l'opération de génération G , toutes deux descriptions partielles distinctes $D_X^o \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$ et $D_Y^o \equiv \{p(G, Y_k)\}, k = 1, 2, \dots, K$, de la base de la couronne statistique-probabiliste, sont posées être reliées entre elles par une méta-loi de probabilité $p(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p(G, X_j)\}$ (cf. 2.6.1.4). L'ensemble de ces méta-lois binaires tresse un deuxième niveau statistique-probabiliste de la couronne de l'arbre $T(G, V_M)$, un méta-niveau unifiant de connaissances acquises via des genèses reliées. Il se constitue ainsi ce 'tout de méta-connaissance' abstraite, statistique-probabiliste, vers lequel pointe le symbole $MIp(me_G) \equiv \{p(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p(G, X_j)\}\}, \forall (X, Y) \in V_M$.

Dans *IMQ* se trouvent donc représentés – selon un point de vue épistémologique-opérationnel-méthodologique – tous les éléments de tous fils des *genèses* impliquées dans la construction de connaissances concernant un microétat donné, depuis l'extraction d'un fragment de réel encore jamais conceptualisé mais dénommé a priori 'le microétat me_G ', et jusqu'aux connaissances finales acquises concernant ce microétat, stockées dans l'ensemble de toutes ses 'descriptions', d'abord construites factuellement, puis posées être prévisionnelles, et qui sont finalement unies les unes aux autres par des relations méta-probabilistes. Ensemble, ces fils génétiques tissent l'arbre $T(G, V_M)$ où les étapes successives accomplies par le concepteur-observateur au cours de son temps, s'organisent après

coup en un ‘tout’ géométrisé, a-temporalisé.

Ainsi dans *IMQ* :

La connaissance statistique-probabiliste prévisionnelle est construite factuellement par des opérations individuelles et physiques qui sont représentées explicitement et sont organisées – avec leur résultat abstrait statistique-probabilistes – en un seul tout, étagé, et spécifié en détail en termes épistémologiques-opérationnels-méthodologiques.

Et puisque l’opération de génération G peut engendrer, soit ‘un microétat de un microsystème libre’ (2.5), soit ‘un microétat de deux ou plusieurs microsystèmes libres’ (2.6.1), soit ‘un microétat libre à opération de génération composée’ (2.6.2) :

Le concept général d’arbre de probabilité $T(G, V_M)$ se scinde en trois catégories distinctes d’arbres associées à des microétats non-liés.

Quant au cas des microétats liés, il reste à part, au départ tout au moins.

5.1.1.2. *MQ_{HD} : contenus mathématiques-algorithmiques, contenus conceptuels non-définis, niveau de conceptualisation quasi exclusivement statistique-probabiliste*

Les descripteurs mathématiques de *MQ_{HD}* sont groupés d’une manière qui est fondamentalement étrangère à tout critère conceptuel, génétique ou sémantique. L’on se donne un réservoir de structures mathématiques préexistantes, à savoir celles rappelées dans le chapitre 4. Sur la base de considérations plus ou moins implicites l’on décide de représenter :

- un microétat, par un ket $|\Psi\rangle$ d’un espace Hilbert qui est peuplé par un fonction complexe des variables réelles (x, t) , intégrable en module carré et ayant une forme mathématique du type de celle qui représente une onde physique : $\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}$;
- un ket d’une base de l’espace Hilbert, par un ket ‘propre’ d’une observable $\mathbf{A} |u_j(x)\rangle$ peuplé par un fonction complexe de la variable réelle x et qui, en général, n’est pas intégrable en module carré ; . . .

Etc.

Ensuite l’on se propose trois buts majeurs de nature directement formelle mathématique :

1. Déterminer l’expression du ket d’état $|\Psi\rangle$ qui ‘représente’ un microétat particulier donné.

2. Définir à l’aide du ket d’état $|\Psi\rangle$ et des algorithmes *MQ_{HD}*, les probabilités prévisionnelles associables aux résultats possibles de mesures de toute observable dynamique \mathbf{A} , effectuées sur le microétat représenté par le ket d’état $|\Psi\rangle$.

3. Représenter mathématiquement, en termes du formalisme, les processus de mesure par lesquels on peut vérifier les prévisions tirées du ket d’état $|\Psi\rangle$ via les algorithmes définis.

L’algorithme général proposé afin d’atteindre le but **1**, est le suivant :

- Écrire l’équation d’évolution de Schrödinger correspondant au problème.
- L’intégrer, ce qui donne une famille infinie de solutions possibles.

- Déterminer l'unique solution de cette famille qui convient au 'problème considéré', 'en imposant les conditions initiales', i.e. en *donnant* le ket d'état initial $|\Psi(t_0)\rangle$.

L'algorithme général proposé afin d'atteindre le but 2 est le suivant :

- Résoudre l'équation $\mathbf{A}|u_j(x)\rangle = a_j|u_j(x)\rangle, j = 1, 2, \dots$, ce qui détermine la base $\{|u_j(x)\rangle\}, \forall j$, introduite dans l'espace Hilbert considéré, par l'observable \mathbf{A} qui représente la grandeur dynamique \mathbf{A} pour laquelle on veut connaître les prévisions probabilistes impliquées par le formalisme, ainsi que la famille correspondante $\{a_j\}, \forall j$, des valeurs propres de \mathbf{A} , liée à cette base.

- Écrire le ket d'état $|\Psi(x, t)\rangle$ du microétat que l'on veut étudier sous la forme de sa décomposition spectrale $|\Psi(x, t)\rangle = \sum_j c_j(t) |u_j(x)\rangle$ sur les kets de la base $\{|u_j(x)\rangle\}, \forall j$, de \mathbf{A} (représentation mathématique liée à ce qu'on appelle « la 'préparation' pour mesure du ket d'état »).

- Calculer l'ensemble $\{|c_j|^2\}, \forall j$, des nombres réels qui, selon le postulat de Born $\{p(a_j) \equiv |c_j|^2\}, \forall j$, équivaut à la loi prévisionnelle de probabilités $\{p(a_j)\}, \forall j$, concernant les résultats possibles d'actes de mesure $Me_s(\mathbf{A})$ sur le microétat dont le ket d'état est $|\Psi(x, t)\rangle$.

L'algorithme général proposé afin d'atteindre le but 3 est le suivant :

Effectuer sur le microétat étudié dont le ket d'état est $|\Psi(x, t)\rangle$, 'un grand nombre d'actes de mesure de l'observable \mathbf{A} ' conçus et représentés selon la théorie des mesures quantiques de von Neumann, et vérifier ainsi la loi de probabilité prévisionnelle $\{p(a_j)\} \equiv \{|c_j|^2\}, \forall j$.

Si l'on veut passer des prédictions et vérifications concernant l'observable \mathbf{A} , à des prédictions et vérifications concernant une autre observable \mathbf{B} , alors l'algorithme posé dans MQ_{HD} est le suivant. On trouve les coefficients d_k qui interviennent dans la décomposition spectrale de $|\Psi(x, t)\rangle$ sur la base dans \mathbf{H} constituée des kets propres $\{|v_k(x)\rangle\}, \forall k$, de \mathbf{B} , en appliquant la théorie des transformations de Dirac selon laquelle les coefficients d_k sont reliés aux coefficients c_j de la décomposition sur la base de \mathbf{A} , via les relations :

$$d_k(t) = \langle v_k | \Psi(x, t) \rangle = \sum_j \tau_{kj} c_j(t) \text{ où : } j = 1, 2, \dots, \tau_{kj} = \langle v_k | u_j \rangle, \forall j, \forall k.$$

Puis on procède de la même façon pour une nouvelle paire $(|\Psi(x, t)\rangle, \mathbf{B})$.

Voilà – réduite à son essence la plus simplifiée – la structuration globale du formalisme de la mécanique quantique fondamentale : Trouver l'expression du ket d'état $|\Psi(x, t)\rangle$ pour le microétat à étudier ; puis deux types de problèmes à résoudre pour chaque paire $(|\Psi(x, t)\rangle, \mathbf{A})$ considérée, et les passages d'une paire $(|\Psi(x, t)\rangle, \mathbf{A})$ à une autre avec $|\Psi(x, t)\rangle$ invariant, assurés par la théorie des transformations de Dirac.

En gros, tous les outils mathématiques offerts par les diverses élaborations plus avancées de la structure représentationnelle globale de MQ_{HD} sont employés afin de détailler, affiner et complexifier les algorithmes utiles pour la solution de ces trois types de problèmes.

5.1.2. Comparaison des procédures préconisées pour création et vérification des connaissances de base

5.1.2.1. Les procédures de IMQ

Création de connaissances prévisionnelles. Dans *IMQ* les connaissances de base communicables et dotées de stabilité statistique-probabiliste $D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ sont créées factuellement-conceptuellement et sur le niveau individuel de conceptualisation via la répétition un très grand nombre de fois de successions $[G, Mes(X)]$ d'opérations physiques, à l'intérieur du tronc et une branche de l'arbre de probabilité du microétat à étudier me_G , chaque telle succession étant suivie d'une opération individuelle conceptuelle de décodage du groupe de marques physiques enregistrées, en termes d'une valeur propre X_j de la grandeur mesurée, dénombrée sous l'étiquetage a priori ' X_j '.

La connaissance $[(D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^o(me_G)]$ créée ainsi factuellement, est posée être prévisionnelle et vérifiable.

Vérification de connaissances prévisionnelles. Toute vérification d'une connaissance créée $D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M$ posée comme étant prévisionnelle, consiste dans *IMQ* en la simple répétition du processus de création de cette même connaissance.

Nous reviendrons sur ce trait remarquable qui tiendra un rôle fondamental dans ce qui suit.

5.1.2.2. Les procédures de MQHD

Création de connaissances prévisionnelles. Les connaissances statistiques prévisionnelles qui dans *IMQ* sont exprimées par les descriptions $D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$, correspondent dans *MQHD* aux connaissances statistiques-prévisionnelles obtenues en construisant et résolvant l'équation Schrödinger du problème et en 'donnant' le ket d'état initial $|\Psi(t_0)\rangle$. Cependant que, on le verra, les connaissances vers lesquelles dans *IMQ* pointent les méta-descriptions $Mlp(me_G) \equiv \{p(Y_k) = \mathbf{F}_{XY}\{p(G, X_j)\}\}$, s'obtiennent dans *MQHD* via les algorithmes de transformation de représentation de Dirac. Ainsi dans *MQHD* la création des connaissances prévisionnelles s'identifie à l'accomplissement des algorithmes mathématiques énumérés dans 5.1.1.2. *Tout* – dans ce processus de création de connaissances prévisionnelles – est opérations mathématiques, à la seule exception de la 'donnée' des conditions qui déterminent le ket initial $|\Psi(t_0)\rangle$ (qui souvent se réduit elle aussi à des considérations de symétrie, de nature abstraite).

Il s'agit là de différences constructives fondamentales. Celles-ci soulèvent avec une force particulière la question générale de la possibilité de construire des connaissances prévisionnelles qui concernent des entités physiques non-observables, quasi exclusivement à l'aide de syntaxes mathématiques, et sans emploi explicite de modèle¹¹⁶ : on y flairer un hiatus caché qui pourrait se révéler être un abîme infranchissable.

Vérification. La procédure de vérification est celle prescrite par la 'théorie des me-

¹¹⁶Notons que la physique atomique et nucléaire, et aussi celle des particules élémentaires, se fondent sur des modèles. Seule la mécanique quantique fondamentale affirme s'en dispenser.

sures quantiques’ de von Neumann : celle-ci met en jeu directement un *ket d’état* associé au [(microétat étudié)+(l’appareil de mesure)], donc un descripteur abstrait statistique. D’autre part, un acte physique de mesure est irrémédiablement individuel, et son résultat aussi. L’essence conceptuelle du bien connu ‘problème des mesures quantiques’ se réduit précisément à cela : on veut justifier mathématiquement le fait qu’une statistique abstraite transmute tout-à-coup en de l’individuel physique, lors de tout enregistrement de marques observables.

5.1.2.3. Conclusion de la comparaison globale neutre

IMQ et *MQ_{HD}* sont deux approches dont chacune établit une représentation de connaissances prévisionnelles statistiques-probabilistes concernant des microétats. Cette stabilité du but poursuivi constitue un caractère invariant lors du passage de l’une de ces deux disciplines, à l’autre. Mais les représentations établies elles-mêmes sont foncièrement différentes.

Cette circonstance est parfaitement conforme au but de ce travail. Désormais l’on dispose d’un ‘extérieur de *MQ_{HD}*’ qui est focalisé sur la même classe d’entités-à-étudier que *MQ_{HD}* et – dans son propre ‘intérieur’ – cet ‘extérieur de *MQ_{HD}*’ est lui aussi rigoureusement organisé, mais autrement que *MQ_{HD}*.

Ainsi, pour examiner tel ou tel aspect de *MQ_{HD}*, ou bien *MQ_{HD}* globalement, l’on pourra désormais être guidé par toute une structure de référence. Si cela réussit ce sera un *break through*.

5.2. Comparaison critique de *MQ_{HD}* avec *IMQ*

Jetons maintenant un premier regard global critique sur la situation conceptuelle qui vient d’être caractérisée.

Ce qui saute aux yeux d’emblée est que :

Le concept d’opération *G* de génération du microétat physique et individuel *me_G* à étudier, tout simplement n’est ni défini ni symbolisé à l’intérieur du formalisme *MQ_{HD}*.

Ceci semble énorme. Mais on n’en est pas conscient parce que dans *MQ_{HD}* l’opération de génération du descripteur $|\psi\rangle$ du microétat étudié est calculatoire. Les conséquences les plus immédiates sont les suivantes :

- Dans *IMQ* la nature de l’opération de génération *G* permet de séparer les microétats en classes mutuellement différentes (microétats libres (d’un seul microsystème ou de plusieurs), microétats libres à *G* non-composée ou composée, des combinaisons des cas mentionnés, et microétats liés (à *G* révolu)). On a vu dans *IMQ* que chacune de ces classes introduit des spécificités très fortes. Cependant que dans *MQ_{HD}* où l’opération de génération *G* n’apparaît pas, les spécificités néanmoins travaillent, mais leur source physique reste inapparente et leurs conséquences physiques-conceptuelles sont dissoutes dans des aspects formels à signification non-identifiée.

Par voie de conséquence :

- Aucune trace – dans le formalisme mathématique de *MQ_{HD}* – d’une distinction tranchée entre une représentation individuelle du microétat à étudier *me_G*, et une représentation statistique-probabiliste de ce microétat : de ce point de vue le statut de la fonction d’onde $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ qui peuple un ket d’état $|\psi\rangle$, est obscur.

- Aucune trace des N' répétitions d'une suite de N répétitions de la succession $[G.Mes(X)]_n, n = 1, 2, \dots, N$, des deux opérations physiques et individuelles G et $Mes(A)$, qui dans IMQ peuplent une branche donnée de $T(G, V_M)$.

- Aucune trace non plus du groupe $\{\mu_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, m$ de marques physiques observables enregistrées via une succession $[G.Mes(X)]_n$ donnée.

- Ni, a fortiori, de la recherche d'une règle de codage $Cod(G, X)$ d'un tel groupe de marques, en termes d'une valeur X_j et une seule du spectre $\{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_J\}$ ¹¹⁷ de la grandeur mécanique X (représentée par une observable quantique correspondante X) mesurée sur un exemplaire du microétat me_G physique et individuel étudié (2.3.2.3). Pourtant on doit effectuer un tel codage après chaque acte de mesure, sinon on ne saurait pas quelle valeur propre ' X_j ' de X – affirmée par postulat avoir 'émergé' à la fin de cet acte – il convient d'archiver. Le mode d'identifier cette valeur ' X_j ' – chargé d'une importance tellement centrale – est laissé à la charge des inépuisables ressources de l'intuition et du bon sens de l'esprit des hommes.

Il s'ensuit que, actuellement, le problème de décodage en termes d'une valeur de la grandeur mesurée, du groupe de marques physiques produit par un acte de mesure, est encore dépourvu d'une solution explicite, méthodologisée et communicable, aussi bien dans IMQ que dans MQ_{HD} . Or ce problème est incontournable dans le cas d'une description primordiale transférée d'un microétat, caractéristique de MQ_{HD} et de IMQ .

Dans IMQ l'existence de ce problème a été mise en évidence avec toute la force nécessaire, mais seulement l'existence. Sa solution pour le cas spécifique des grandeurs 'mécaniques' considéré dans MQ_{HD} , n'était pas compatible avec le degré de généralité de l'approche de IMQ (cf. 2.3.2.3) ; on a donc présupposé que la solution de ce problème est incorporée au formalisme de MQ_{HD} .

Mais il apparaît maintenant que dans MQ_{HD} on ne s'en est tout simplement pas soucié d'une façon explicite et systématique. Or en l'absence d'un mode bien défini et valide pour tout cas qui peut se présenter, de décoder les marqueurs enregistrés par 'mesures', en termes d'une valeur de la grandeur mécanique mesurée, *il n'existe pas de 'théorie des mesures quantiques'*. Il s'agit donc d'une question cruciale qu'il faudra placer au centre des examens qui suivent, et éclaircir.

Mais reprenons l'examen critique global.

Dans MQ_{HD} l'on se focalise donc directement sur la spécification mathématique du ket d'état $|\psi(t)\rangle$. Celui-ci, lorsqu'il est effectivement identifié mathématiquement, ne représente le microétat d'un point de vue observationnel que – directement – via des valeurs propres individuelles a_j numériques des observables quantiques X introduites dans le formalisme directement en tant que des qualifications abstraites dont l' 'émergence' est juste postulée formellement sans être construite à partir de données physiques observables selon des critères explicites. Corrélativement, les prévisions statistiques s'accomplissent elles aussi par des calculs, via la donnée du ket initial $|\psi(t_0)\rangle$ par des considérations mathématiques, et le postulat de probabilité de Born. Seules les vérifications des prévisions statistiques comportent des actions individuelles de mesures, mais celles-ci sont liées au descripteur $|\psi(t)\rangle$ d'une manière où la distinction individuel-statistique devient floue et implique le problème de réduction.

Tout cela devient très clair lorsqu'on se rapporte à l'arbre de probabilité final de IMQ

¹¹⁷ Conformément au 'choix d'effectivité' annoncé dans l'introduction à cette 2^{ème} partie nous continuons dès maintenant d'utiliser les notations *finies* adoptées dans IMQ .

reproduit dans la figure 4 :

Tout ce qui est en-dessous du rectangle supérieur qui encapsule la couronne statistique d'un arbre de probabilité de IMQ , est occulté dans MQ_{HD} , sauf si c'est postulé directement, et dans ce dernier cas c'est postulé en termes purement abstraits, numériques, sans aucun fondement conceptuel-opérationnel physique explicitement formulé.

Tout ce qui est clairement de nature individuelle physique mène dans le formalisme de MQ_{HD} une existence qui, soit est entièrement refoulée en dessous du sol de la théorie, soit est masquée dans de l'abstrait. Dans tous les cas il s'agit d'une existence sans voix, sans représentations, à noms chuchotés. Néanmoins il semble clair que dans MQ_{HD} tout autant que dans IMQ l'entier travail physique qui, nécessairement, *est* supposé, puisqu'il s'agit d'une théorie physique, est accompli par des entités physiques. Notamment, les statistiques représentées par les kets d'état $|\psi\rangle$, comme toute statistique, ne peuvent ni émerger ni être vérifiées factuellement autrement que par des dénombrements de résultats d'examen individuels physiques accomplis avec et sur des entités individuelles physiques.

En ces conditions, les caractères épistémiques et méthodologiques liés aux entités individuelles et physiques, qui existent nécessairement eux aussi et qui créent les *significations* associées au formalisme mathématique, ne trouvent eux non plus dans MQ_{HD} aucune place formelle aménagée où se loger.

Tout cela, l'individuel et physique, l'épistémologique ou conceptuel-méthodologique, est implicitement supposé pouvoir être absorbé entièrement dans des algorithmes mathématiques calculatoires importés des mathématiques *classiques*, et dans des abstractions *postulées* : écriture de l'équation Schrödinger du problème – une équation différentielle, conçue plus ou moins explicitement comme concernant du *continu* factuel, quand en fait il s'agit de *probabilités* de marques discrètes, donc de convergences de *suites de nombres abstraits*, et qui en outre est juste posée comme 'exister' toujours, sans que soient spécifiées des unités de mesure pour la déclaration des valeurs de la grandeur mesurée qui sont signifiées par les marques discrètes enregistrées ; la 'donnée' du ket probabiliste initial $|\psi(t_0)\rangle$, implicitement posée comme possible toujours ; 'émergence' automatique après chaque acte de mesure, d'une valeur propre abstraite de la grandeur mesurée, posée sans expliciter ni comment cette valeur émerge à partir des marques physiques observables enregistrées, ni quelle valeur numérique doit être archivée, face à l'usage de quelles unités de mesure ; etc., etc.

L'entière genèse physique de construction des connaissances prévisionnelles contenues dans le ket d'état $|\psi\rangle$ reste non-conçue et a fortiori non dite, posée avoir été capturée dans les algorithmes d'analyse mathématique qui ont conduit à pouvoir écrire un ket d'état $|\psi\rangle$ bien défini.

Mais une telle toute-puissance du purement formel est-elle possible ?¹¹⁸

Cette attitude s'infuse aussi dans les actions de vérification par des mesures des prévisions statistiques observables affirmées via un ket d'état $|\psi\rangle$: lorsqu'on veut représenter ces actions on dit que c'est lui, ce ket d'état $|\psi\rangle$ lui-même, à contenus *statistiques, numériques* (juste des fréquences relatives abstraites posées être convergentes sous répéti-

¹¹⁸Dans la mesure où cette possibilité existe véritablement, elle est *très* remarquable et il serait utile de bien comprendre par quelles voies elle peut s'actualiser.

tion. . . de quoi, exactement ? de quelles procédures *physiques* ?) qui est soumis à ce qu'on appelle une 'préparation pour mesure'.

Quant au langage courant qui accompagne les algorithmes mathématiques, il contient des mots d'appoint (système, onde, mesure, etc.) qui contribuent à engendrer une structure verbale-conceptuelle-formelle molle et confuse où finalement l'on flaire un pur et simple hiatus entre l'individuel physique, et le statistique abstrait, où coule toute une boue de sens mélangés.

Or, lorsqu'on s'est astreint d'élaborer *IMQ* l'on est averti que c'est précisément dans la *genèse* des représentations statistiques abstraites des microétats que se trouve piégée l'entière révolution épistémologique comportée par *MQ_{HD}*¹¹⁹.

Notamment, on comprend pourquoi la structure probabiliste *propre* au formalisme quantique n'a été perçue que relativement tard (Mackey [1963], certains travaux de logique quantique), et très faiblement¹²⁰. Et ceci est particulièrement regrettable. Car le concept de probabilité qui est impliqué dans le formalisme quantique non seulement n'est pas vétuste face à la conceptualisation 'moderne' de Kolmogorov, mais au contraire il la dépasse en modernité, de loin, et de tout un ensemble de façons ignorées (MMS [2002b, 2006, 2014]). La structure d'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ construite dans *IMQ* met en évidence ce fait notable, d'une manière intégrée. Elle révèle et impose à l'esprit :

- Le fait que l'entité-à-être-étudiée '*me_G*' est créée par l'opération de génération *G* qui l'introduit, et émerge encore entièrement inconnue : tant que cela n'est pas clairement compris les phénomènes aléatoires quantiques restent incompris parce qu'on imagine plus ou moins implicitement que tout microétat étudié préexiste à son étude, doté de toutes ses propriétés, comme un caillou que l'on ramasse pour l'examiner.

- L'existence et l'organisation hautement non triviale de dépendances et indépendances probabilistes d'une nature nouvelle, qui face aux espaces de probabilité mutuellement isolés de Kolmogorov restent cachées, parce qu'elle concernent *des* relations entre plusieurs espaces de Kolmogorov issus d'une même opération de génération *G*.

- L'existence de méta-lois de probabilité $Mlp(me_G)$ qui caractérisent globalement un microétat donné lié à une opération de génération *G* donnée.

- Les spécificités inattendues d' 'intrication' atemporelle, à des distances spatiales non-délimitées, qu'introduit la méta-loi de probabilité $Mlp(me_G)$ de l'arbre de probabilité d'un microétat de deux ou plusieurs microsystemes.

- La relation non-additive entre des lois de probabilité virtuelles, de référence, qui est liée à l'arbre de probabilité d'un microétat à opération de génération composée (2.6.2.2).

Tout cela définit un monde probabiliste nouveau qui dans *MQ_{HD}* reste non-dit et non-intégré. Ils y est pourtant nécessairement incorporé, mais comme dans un état paradoxal de traces d'un jamais fait. Sous le guidage de *IMQ* l'on peut identifier dans *MQ_{HD}* des fragments et des caractères de ce monde probabiliste inconnu, et cela produit l'impression curieuse d'une sorte de reconstitution à la Cuvier que l'on percevrait réfléchi par un miroir de temps : Des fouilles dans le formalisme *MQ_{HD}* – qui existe depuis longtemps – mettent

¹¹⁹Une telle situation ne peut s'expliquer – et encore en partie seulement – que par le fait que lors de la construction du formalisme de *MQ_{HD}* les attentions étaient focalisées surtout sur des microétats liés où l'individuel et le statistique se mélangent si intimement qu'on arrive difficilement à les séparer ; cependant que, en outre, l'observateur-concepteur y trouve déjà constitués les microétats à étudier.

¹²⁰Jusqu'à ce jour même, ni l'analyse de Mackey [1963] ni, a fortiori, des analyses probabilistes plus fines, n'ont encore abouti à véritablement intégrer dans les exposés de *MQ_{HD}*, les concepts de la théorie actuelle des probabilités, qui eux-mêmes sont déjà largement dépassés (MMS [2006, 2014]).

au jour des fragments de la représentation IMQ des microétats qui vient juste de naître, et ces éléments suggèrent les structures d'un calcul des probabilités futur.

La situation conceptuelle qui vient d'être constatée, peut surprendre. Car le contraste avec l'état encore courant d'idolâtrie face au formalisme quantique, est grand. Mais le constat est là, et il impose une question finale :

En quel sens MQ_{HD} est-elle véritablement une théorie physique, et à laquelle on puisse faire confiance ?

MQ_{HD} offre un système d'algorithmes pour construire et vérifier des prévisions statistiques-probabilistes concernant des microétats. Oui. Mais après la construction de IMQ , la validité générale d'une structure mathématique prévisionnelle qui concerne des entités et faits physiques et individuels que l'on ne peut pas percevoir, et qui n'expose explicitement ni les définitions de ces faits eux-mêmes ni la manière de laquelle ils engendrent la structure prévisionnelle affirmée, apparaît comme une performance invraisemblable, proprement magique. Car on a vu quels problèmes inusuels, insolites, et quelles solutions sans correspondant classique, ont comporté dans IMQ la définition du microétat à étudier, puis la définition d'un concept recevable de 'mesure' sur un microétat, qui présuppose un modèle. Et l'on a constaté combien est crucial le rôle organisateur de l'opération physique et individuelle G de génération du microétat physique et individuel me_G que l'on veut étudier. Lorsqu'on a vu cela, on ne s'étonne plus que MQ_{HD} soulève des problèmes qui depuis quelque 80 ans ne s'élucident pas, quand l'opération G de génération d'un microétat n'y est pas représenté, et un modèle de microétat non seulement n'y est pas spécifié, mais son existence même y est interdite.

A-t-on vraiment surveillé si la représentation algorithmique offerte par MQ_{HD} , au cours de sa longue évolution, est effectivement restée dotée de toute la *généralité* qu'elle revendique ? La thèse de Louis de Broglie a été publiée dans 1924 ; l'équation de Schrödinger, en 1925 ; le postulat de Born, en 1926 ; la formulation hilbertienne de Dirac, en 1930 ; celle de von Neumann en 1932 ; le théorème de Gleason en 1957 ; et la formulation élaborée de la théorie de Broglie-Bohm s'est développée au cours de la période (Bohm [1952], de Broglie [1956], Holland [1993]) en tant qu'une 'interprétation' du formalisme Hilbert-Dirac, à l'ombre du concept de von Neumann de 'variables cachées' *relativement* au formalisme *Hilbert-Dirac*¹²¹. Mais ne s'est-on pas laissé porter, ici ou là, par des inerties qui se sont subrepticement installées par des extrapolations successives à partir de quelques grands succès de départ ?

Et si une surveillance constante et attentive n'a pas été exercée, alors quelle chance y a-t-il que des algorithmes qui ne sont pas compris satisfassent automatiquement à toutes les conditions nécessaires de signifiante formelle et de réalisabilité générale des algorithmes prescrits ?

De ces questionnements, jusqu'à une claire mise en doute de la pertinence des algorithmes de MQ_{HD} face à tous les cas qui se présentent et de tout point de vue, il n'y a qu'un pas. C'est un pas qui, probablement, aujourd'hui encore, apparaîtra aux yeux de certains comme déraisonnable ou même profanatoire. Mais l'histoire des dogmes dans l'évolution de la pensée *scientifique* chuchote d'une façon persuasive qu'il n'y a pas d'obstacle rationnel qui empêche ce pas, tout au contraire, et que s'opposer à la réification dogmatique de

¹²¹Pour des photons individuels Aephräim Steinberg [2011] et son équipe ont montré qu'il ne s'agit pas de 'paramètres cachés' mais de caractères mesurables : n'en est-il pas de même pour des microétats à masse non-nulle au repos ?

certaines représentations – même si celles-ci paraissent être très remarquablement mathématisées – risque de conduire à quelques nouveautés valides.

Nous allons donc approfondir l'examen de MQ_{HD} par référence à IMQ .

6

Examens critiques-constructifs d'éléments de MQ_{HD} , par référence à IMQ

6.1. Préalables

Le chapitre qui suit est à contenu morcelé. Nous y focaliserons l'attention sur des aspects locaux de MQ_{HD} qui, par référence à IMQ , révèlent des insuffisances. Et dans chaque cas nous essayerons de préciser l'insuffisance perçue et, si possible, la lever immédiatement. Le but de ce chapitre est de préparer une reconstruction globale de la représentation des microétats qui soit dotée d'intelligibilité claire.

Plan. Dans 6.2 nous commençons par rechercher le modèle de microétat qui se trouve impliqué dans MQ_{HD} – nécessairement – puisqu'on arrive à y discerner quelles interactions avec un microétat sont adéquates en tant qu'actes de mesure d'une grandeur mécanique donnée.

Dans 6.3 nous montrons que le recours au concept IMQ d'opération de génération d'un microétat possède un pouvoir remarquable d'élucidation des significations spécifiques de quelques constituants fondamentaux des algorithmes de MQ_{HD} .

Dans 6.4 nous ferons un examen critique de la théorie quantique des mesures ; celle-ci mettra en pleine évidence le but poursuivi et montrera que la modalité employée dans MQ_{HD} n'est pas acceptable, ni d'un point de vue conceptuel, ni d'un point de vue mathématique, et qu'en outre elle comporte des *restrictions arbitraires* cachées.

Enfin, dans 6.5 nous ferons un bref bilan des conclusions locales obtenues et des possibilités constructives qu'elles comportent.

Renotations unifiantes. Afin d'installer une spécification d'un élément de MQ_{HD} dont la nécessité apparaît par référence à IMQ , nous utiliserons des re-notations unificatrices appropriées. Par exemple, si une grandeur mécanique classique redéfinie dans MQ_{HD} pour des microétats est dénotée par une lettre A, B, C, \dots alors la grandeur mécanique classique correspondante sera désormais re-dénotée dans IMQ par A, B, C, \dots , respectivement. Corrélativement, la valeur d'une telle grandeur mécanique ou d'une telle observable sera *uniformément* dénotée par a_j ou b_k , etc., dans IMQ comme dans MQ_{HD} , puisque dans les deux cas il s'agit d'un codage numérique d'une valeur d'une grandeur mécanique indiquée par un groupe donné de marques observables produit par un acte de mesure physique et individuel. Donc lorsque nous adopterons un instant le point de vue de IMQ nous écrirons désormais : grandeur mécanique A et $p(G, a_j)$; $[(D_A^o(me_G) \equiv \{p_o(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$ et $[(D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^o(me_G)]$ (où V_M se lit 'vue de qualification mécanique) ; nous écrirons $Cod(G, A)$. Cependant que lorsque nous nous placerons pour un instant dans MQ_{HD} nous écrirons $|\Psi_G\rangle$ ou $|\Psi_{Gt}\rangle$ afin de rappeler la relation avec le microétat me_G généré par l'opération de génération G ou bien par une opération de

génération G_t qui en dérive au sens de 2.8 via une évolution ultérieure. Corrélativement, pour l'observable \mathbf{A} par exemple, nous écrirons $p(\Psi_{G_t}, \mathbf{A}) = \{p^i(\Psi_G, a_j) \equiv |c(\Psi_{G_t}, a_j)|^2\}$. Etc.

Mais lorsqu'il sera question de manière plus stable de *IMQ isolément*, nous pourrions éventuellement conserver les notations utilisées lors de la construction de *IMQ*, si cela semble utile pour faciliter au lecteur la recherche de l'endroit et de l'identification de la construction initiale à laquelle l'on fait référence. Nous agissons de la même manière lorsqu'il s'agira de *MQ_{HD}* considérée *isolément*, afin de ne pas violer trop les habitudes installées.

Choix d'effectivité. Les formulations de *MQ_{HD}* sont fondées sur les mathématiques classiques, continues, et qui incluent des infinis. Notamment, les spectres des observables quantiques sont en général posés être continus et illimités. Or dans ce qui suit – afin d'assurer d'emblée un caractère d'effectivité au sens de l'informatique – nous supposons que :

Chaque observable est introduite avec la spécification d'une unité de mesure qui définit un seuil inférieur de distinction mutuelle de deux valeurs propres, i.e. une discrétisation du spectre de ces valeurs. En outre nous supposons systématiquement que le domaine – physique ou abstrait – d'espace-temps qui est comporté par tout processus d'observation scientifique, est fini. *Nous ne considérons donc que des spectres à cardinal J fini.*

Mais notons ce qui suit. Comme ce cardinal admet une valeur finie *quelconque*, cela ne restreint nullement les raisonnements et si l'on exige de spécifier pour toute grandeur X considérée, des unités de mesure que l'on peut choisir aussi petites qu'on veut (tant que les concepts de microétat et d'observable introduits conservent le sens que leur attribue leur définition¹²²).

6.2. Identification du modèle de microétat qui agit dans *MQ_{HD}*

Afin de la doter de validité pour toute construction primordiale de connaissances concernant les microétats, *IMQ* a été délibérément gardée vide de tout modèle défini d'un microétat physique et individuel. Dans 2.3.2.3, 2.3.2.4, 2.3.3.2, 2.4.1, nous avons fortement insisté sur ce fait.

Mais dans le même temps nous avons insisté aussi sur le fait que – afin de fonder une comparabilité avec la *mécanique* quantique – nous posons qu'un modèle *doit exister*. Car seul un modèle de microétat peut offrir des critères pour établir que telle ou telle interaction entre ce microétat et tel ou tel 'appareil', provoquée dans la région d'espace-temps assignée au microétat à étudier, *peut* être considérée, ou non, comme un 'acte de mesure' de, spécifiquement, telle grandeur mécanique classique A redéfinie pour des microétats ; et en outre, seul un modèle présumé et représenté de manière explicite en termes conceptuels-mathématiques, peut permettre de traduire les effets physiques directement observables (un groupe de marques sur les enregistreurs de l'appareil utilisé) en une 'valeur' a_j de la grandeur A et une seule, via une procédure de traduction, de 'codage', bien définie. De manière tout à fait générale, lorsqu'on se trouve en présence de descriptions *primordiales transférées* l'existence d'un modèle de l'entité physique étudiée est une condition sine qua non, puisqu'en ce cas l'interaction provoquée produit exclusivement un groupe de marques

¹²²Le concept d'atome perd son sens en dessous des ordres de longueur spatiale inférieurs à 10^{-13} cm, le concept d'unité de temps n'est clairement définissable qu'en relation avec la constante h de Plank, etc.

physiques observables qui, de par lui-même, ne véhicule aucune qualia qui puisse *signifier* d'une manière associable avec le microétat étudiée et avec la grandeur mesurée :

Soit on peut établir une telle signification, soit l'interaction ne constitue pas 'un acte de mesure'.

Ainsi, sans aucun modèle de microétat – comme l'exigeait Bohr – il n'y aurait aucun *critère* pour définir dans MQ_{HD} des 'actes de mesure' pour mesurer telle ou telle observable quantiques et pour décoder l'effet observable brut d'un tel acte, en termes d'une valeur propre de la grandeur mécanique mesurée.

Donc dans ce qui suit nous allons confronter la structure qualitative de IMQ – sémantiquement explicite mais vide de tout modèle spécifié de microétat – à la structure mathématique de MQ_{HD} qui, elle, est sémantiquement non-explicite mais *implique certainement quelque modèle de microétat*.

D'autre part notons immédiatement ce qui suit :

Selon MQ_{HD} le résultat d'un acte de mesure de l'observable dynamique \mathbf{A} mesurée, est posé par postulat comme émergeant directement codé en termes d'une valeur propre a_j de \mathbf{A} ; mais cela, sans dire comment on doit faire la correspondance [(tel groupe de marques observables) \leftrightarrow (telle valeur propre)] (!!!).

Sans crier gare, la phase de codage, de traduction communicable en termes *signifiants* des résultats bruts d'un acte de mesure, est occultée par la structuration de MQ_{HD} . Ni plus, ni moins. Il s'agit là d'une lacune proprement énorme. D'autre part, si vraiment on peut toujours arriver à passer du résultat observationnel brut d'un acte de mesure admis par MQ_{HD} , à son codage en termes d'une valeur propre de la grandeur mesurée, alors la procédure de codage *doit* exister de manière implicite dans la représentation des microétats selon MQ_{HD} et elle doit pouvoir être explicitée au sens de (2.3.2.2, 2.3.2.3, 2.3.2.4), ce qui, nécessairement, implique l'utilisation cachée d'un modèle de microétat.

Ce problème d'un modèle de microétat et des modes de codage des résultats observables bruts d'un acte de mesure sur un microétat, en termes d'une valeur de la grandeur mécanique mesurée, occupe une place centrale dans tout ce qui suit. Les contenus du sous-chapitre 6.2 nous rapprocherons notablement de la solution. Mais cette solution ne se constituera dans toute sa généralité qu'à la fin du chapitre 7. Cela mesure à quel point, dans une représentation des microétats dotée d'effectivité, le rôle d'un modèle de microétat est foncièrement omniprésent.

6.2.1. *Le faux problème de la non intégrabilité en module carré de tout ket propre*

Soit l'observable \mathbf{A} associée à la grandeur dynamique A . Son rôle dans MQ_{HD} est lié à l'équation $\mathbf{A} |u_j(x)\rangle = a_j |u_j(x)\rangle$, $j = 1, 2, \dots$ qui détermine la famille $\{u_j(x)\}$, $j = 1, 2, \dots$ des fonctions propres de l'observable \mathbf{A} qui interviennent dans les kets $|u_j(x)\rangle$ de la base introduite par \mathbf{A} dans l'espace de représentation \mathcal{E} , ainsi que la famille correspondante $\{a_j\}$, $j = 1, 2, \dots$ de valeurs propres a_j de \mathbf{A} . La famille $\{u_j(x)\}$, $j = 1, 2, \dots$ des fonctions propres d'une observable quantique peut toujours être orthogonalisée. Mais, comme il est bien connu, en général une fonction propre d'une observable quantique ne peut pas toujours être normée à 1 en module carré. Et lorsqu'il en est ainsi elle ne peut pas jouer aussi le rôle d'une fonction 'd'état' du sous-espace Hilbert \mathcal{H} de représentation des ket d'état. On traite

cela comme un ‘problème’. Par exemple, [Bohm, 1951, p. 210-211]) écrit pour le cas des fonctions propres de l’observable quantité de mouvement :

«... We obtain $\psi = e^{ip_x/\hbar}$... Strictly speaking, the above eigenfunctions cannot, in general, be normalized to unity... Let us recall, however, ... that in any real problem the wave function must take the form of a packet, since the ‘particle’ is known to exist somewhere within a definite region, such as in the space surrounded by the apparatus. To obtain a bounded and therefore normalizable packet, we can integrate over momenta with an appropriate weighing factor.»

On voit que Bohm adopte d’emblée un point de vue purement mathématique. Il ne s’attarde pas un seul instant sur l’aspect conceptuel. Il n’introduit même pas une notation qui distingue entre ket d’état et ket propre d’une observable. Et afin de faire face à la différence mathématique entre ces deux sortes de descripteurs, il se lance sans états d’âme dans la voie des *approximations*.

Avec un souci plus exigeant de rigueur conceptuelle, [Dirac, 1958, p. 48] écrit :

«It may be that the infinite length of the ket vectors corresponding to these eigenstates is connected with their unrealizability, and that all realizable states correspond to ket vectors that can be normalized so that they form a Hilbert space».

Enfin, dans le livre didactique de *CTDL* [1973, pp. 111-114] l’on construit ‘une solution physique aux difficultés’ (déjà utilisée par [Bohm, 1951, p. 212], sans affirmer la qualification de ‘physique’).

De quoi s’agit-il donc ?

Il apparaîtra ci-dessous qu’il s’agit d’un faux problème induit par la non identification de la signification conceptuelle-modélisante du descripteur mathématique dénommé ket propre.

6.2.2. La signification d’un ket propre et conséquences

6.2.2.1. Signification

La question formulée renvoie à *IMQ* pour un rappel de la zone de référence qui sera utilisée.

L’observable quantique A peut être regardée comme une représentation mathématique, dans MQ_{HD} , de ce qui dans *IMQ* a d’abord été signalé en termes généraux comme ‘une dimension classique de qualification’ (par exemple ‘couleur’) qui ‘porte’ – toutes à la fois – les ‘valeurs’ de couleur (‘rouge’, ‘vert’, etc.) que l’on veut prendre en considération (cf. 2.3.1). Ce concept classique d’une dimension qualifiante a été conservé tel quel dans *IMQ* : C est un *genus proximus*, un substrat sémantique unique, une ‘nature’ commune, que l’esprit, par construction conceptuelle réflexe, place en-dessous de l’ensemble des ‘valeurs’ qualifiantes considérées, regardées alors comme des ‘différences sémantiques spécifiques’ sur ce substrat sémantique unique¹²³.

Une fois importé de la pensée classique dans *IMQ*, le concept de dimension de qualification (au sens grammatical de ‘prédicat’) (2.3.2) y a dû être soumis à des contraintes très sévères requises par l’applicabilité à des microétats, en l’absence de toute quale assignable au microétat étudié lui-même. En effet, on l’a vu, l’absence de qualia oppose des difficultés notables à l’exigence de pouvoir coder tout groupe de marques physiques directement perçues produit par une interaction voulue qualifiante (i.e. qui assigne une signification) en termes d’une ‘valeur’ et une seule de la dimension qualifiante. Car tant que l’exigence de

¹²³Personne n’a jamais *perçu* le désigné du mot ‘couleur’. Celui-ci désigne un concept, pas perception. Seulement ce qu’on a dénommé ici ‘valeurs de couleur’ est directement perceptible.

codabilité n'est pas satisfaite, les interactions 'qualifiantes' n'engendrent aucune sorte de signification, donc, de manière auto-contradictoire, elles ne qualifient pas.

L'examen des contraintes de codabilité a d'abord abouti à une possibilité de coder le groupe de marques observables qui est produit par une 'interaction-test' \mathbf{T} posée comme qualifiante mais qui n'est pas définie à partir de la conceptualisation classique, ni dénommée dans le langage courant : il s'agit alors d'un 'codage-cadre d'espace-temps' $Cod.cadre(Et)$ défini dans 2.3.2.2. La possibilité d'un tel codage est tout à fait générale. Mais d'autre part un tel codage confine à l'intérieur de la strate primordiale de conceptualisation ; par construction, elle n'établit aucun lien avec la physique classique, ni, en particulier, avec le concept de qualification 'mécanique' recherché dans la mécanique quantique. Donc – à lui seul – un codage du type $Cod.cadre(Et)$ ne peut pas fonder des comparaisons avec la mécanique quantique. Pour cette raison dans 2.3.2.3 – où nous avons voulu préparer via un langage et des notations adéquats une comparabilité immédiate avec le formalisme de la mécanique quantique – la supposition initiale d'indépendance de l'interaction qualifiante considérée, de toute grandeur définie dans la physique classique, et notamment des grandeurs classiques mécaniques, a été supprimée. Ceci a réduit la généralité de l'approche subséquente en exigeant de poser a priori la possibilité d'un concept de grille de qualification primordiale, $gq.primord.(A).me_G$ liée à une 'grandeur mécanique classique A redéfinie pour des microétats'. Par voie de conséquence il a fallu restreindre le concept de mesurabilité d'une telle grandeur 'mécanique', par la condition nécessaire que l'on puisse construire un codage $Cod(G,A)$ correspondant, lié à la mécanique classique, pour tout groupe de marques directement observables produit par un acte d'interaction entre un 'appareil' pour mesurer la grandeur A et le microétat étudié, qui puisse être considéré, sur la base de quelque argument explicite, comme un acte de 'mesure' lié à une grandeur mécanique classique A.

Retournons maintenant dans MQ_{HD} : Soit une grandeur dynamique classique A et soit $\{a_j\}, j = 1, 2, \dots$ le spectre des valeurs 'propres' de l'observable \mathbf{A} qui représente la grandeur mécanique classique A redéfinie pour des microétats. Ce spectre est déterminé par l'équation $\mathbf{A} |u_j(x)\rangle = a_j |u_j(x)\rangle, j = 1, 2, \dots$ qui détermine également la famille $\{|u_j(x)\rangle\}, \forall j$, des ket propres de \mathbf{A} . Et c'est une valeur de ce spectre qui – selon un postulat de MQ_{HD} – doit être produite par un acte de mesure de \mathbf{A} , i.e. selon IMQ par l'application au groupe de marques observables produit par cet acte de mesure, d'un mode de codage $Cod.(G,A)$ encore inconnu, mais que nous devons absolument identifier. Or :

Chaque valeur propre a_j de A est associée à un ket propre $|u_j(x)\rangle$ qui lui correspond spécifiquement.

Ceci est nouveau par rapport au concept classique d'une dimension sémantique (comme celle de 'couleur') qui introduit une seule dimension sémantique pour l'ensemble de toutes les valeurs que l'on décide de prendre en considération sur la dimension sémantique choisie. Et c'est nouveau également par rapport au concept plus global de 'grille de qualification primordiale liée à une grandeur mécanique classique A redéfinie pour des microétats' défini dans IMQ (2.3.2.3). Peut-on assigner une *signification* claire à cette nouveauté formelle face à IMQ qui ne se fait jour que dans MQ_{HD} ? Cette question met en évidence un bout de fil à saisir, qui est le suivant :

L'équation $\mathbf{A} |u_j(x)\rangle = a_j |u_j(x)\rangle, j = 1, 2, \dots$ de MQ_{HD} provient d'une généralisation accomplie implicitement, du modèle 'onde corpusculaire' d'un microétat qui, dans

la thèse de Louis de Broglie, à conduit à la relation $p = h/\lambda$.

En effet c'est ce modèle qui a été utilisé afin de représenter un électron libre dans une région où n'agissent pas des champs macroscopiques. Ce modèle, de manière déclarée, a été induit dans l'esprit de Louis de Broglie par l'usage que l'on fait de décompositions de Fourier dans l'électromagnétisme classique : De même que dans une décomposition de Fourier l'on associe à chaque longueur d'onde λ , une onde plane correspondante, de Broglie a associé à chaque valeur possible $p_{x,j}$ de la grandeur mécanique classique 'quantité de mouvement' p_x ¹²⁴ d'un l'électron libre, une onde plane correspondante de 'phase corpusculaire', $\psi(x,t) = ae^{i\varphi(x,t)}$, où a est une amplitude arbitraire et *constante*, et la phase 'corpusculaire' s'écrit $\varphi(x,t) = (i/\hbar)(Wt - p_{x,j}.x)$, où $W = mc^2/\sqrt{1-v^2/c^2}$ est l'énergie de l'*aspect corpusculaire de l'onde*, cependant que $p_{x,j}$ est la valeur, constante, posée pour la quantité de mouvement p_x de cet 'aspect corpusculaire'. Ce qui conduit à introduire dans le ket propre $|u_j(x)\rangle$ la 'fonction d'onde' $u_j(x) = e^{(2\pi i/h)p_j.x}$ ¹²⁵.

Quant à l'*aspect corpusculaire* lui-même, *il n'était pas représenté dans l'expression mathématique du modèle*. Mais verbalement, cet aspect corpusculaire était posé consister en une 'singularité de l'amplitude de l'onde' : un endroit où l'amplitude est tellement grande face à la valeur 'régulière' et constante dénotée a qu'elle possède partout ailleurs, qu'elle y concentre pratiquement toute l'énergie $W = mc^2/\sqrt{1-v^2/c^2}$ de l'onde. Et cette singularité très localisée de l'amplitude de l'onde était posée glisser dans l'onde comme une 'particule' (comme un petit mobile au sens classique) qui – en conséquence de son caractère localisé – admettrait à chaque instant une qualification de 'position x ' et de quantité de mouvement à valeur constante p_j de l'observable \mathbf{P}_x , cependant que l'onde entière n'admet évidemment pas une telle qualification, car, d'une façon générale, les qualifications qui s'appliquent à un 'mobile' ne s'appliquent pas aussi à une entité non-localisée, comme c'est le cas pour une onde entière. (On peut dire que ces qualifications mécaniques 'n'existent pas face au concept d'onde'). En tout cas, il ne s'agissait nullement d'une 'particule' au sens classique. Il s'agissait d'une singularité de l'amplitude d'une onde, donc d'un aspect d'une onde, mais qui est localisé, et la localisation est mobile à l'intérieur de l'onde. A savoir, elle y est localisée de *telle* manière que la valeur p_j de la qualification de l'évolution mécanique de cette singularité mobile, via la grandeur classique A , *restât* celle qui s'est trouvée être réalisée 'au départ'¹²⁶.

Or cela n'est possible, selon la description mathématique introduite dans la thèse de Louis de Broglie, que si, à chaque moment t donné, la phase de l'oscillation de la singularité mobile est identique à la phase dans laquelle se trouve l'oscillation de l'amplitude de la portion de l'onde qui entoure la singularité au moment t ¹²⁷.

¹²⁴Pour simplicité, ici comme ailleurs dans ce travail l'on ne considère qu'une seule dimension spatiale dénotée x .

¹²⁵Notons que l'opération physique de génération G , au sens de *IMQ*, de ce microrétat d'électron libre, n'est pas spécifiée dans la thèse de Louis de Broglie, il s'y agit d'un *concept*, d'un microétat *idéal*. Mais lorsqu'il a fallu en définir une réalisation matérielle, on a imaginé des procédures de génération non-composées (et celles-ci se sont associées à la notion de 'paquet d'ondes', qui a entraîné avec elle l'introduction de toute une distribution de 'probabilité' de présence' et a conduit à l'installation de la confusion systématique de l'individuel, avec du statistique). C'est le péché originel de la mécanique quantique actuelle, qui a été commis dans la thèse même de Louis de Broglie (cf. l'annexe 1).

¹²⁶Sans définir l'opération de réalisation de ce 'départ'.

¹²⁷Le 'théorème de la concordance des phases', démontré en quelques lignes, un diamant oublié de la pensée. Ce théorème qui a installé la relation fondatrice $p = h/\lambda$, est enraciné dans la relativité restreinte d'Einstein, et cela, par confrontation avec l'échec d'une véritable unification de la mécanique quantique avec la relativité, conduit à un mystère (MMS [1989, 1994]) qui me semble indiquer, notamment, qu'il est faussant de vouloir lier nécessairement l'entière essence de la conceptualisation einsteinienne – *en bloc* – à une validité généralisée à tout champ de toute *nature*, de la valeur C de la vitesse de propagation des champs *électromagnétiques*.

Rappelons maintenant que si l'on applique à l'expression mathématique de l'onde corpusculaire de Louis de Broglie, une dérivation par rapport à x , l'on obtient l'équation MQ_{HD} pour ondes et valeurs propres de la composante p_x de la grandeur mécanique quantité de mouvement classique \mathbf{p} , à condition de représenter cette composante p_x de \mathbf{p} par l'observable quantique correspondante $\mathbf{P}_x = (\hbar/i)d/dx$: On voit donc bien que la source de l'équation $\mathbf{A}|u_j(x)\rangle = a_j|u_j(x)\rangle$, $j = 1, 2, \dots$ – qui dans MQ_{HD} est posée pour toute observable \mathbf{A} – se trouve dans le modèle 'onde à aspect corpusculaire' qui a conduit à la relation $p = h/\lambda$.

En outre, comme il est bien connu, dans le cas particulier de l'observable \mathbf{P}_x de MQ_{HD} on retrouve $(i/\hbar)d/dx(\varphi(x,t)) = (i/\hbar)grad.\varphi(x,t)$, ce qui est le théorème bien connu 'de guidage' de Louis de Broglie, repris beaucoup plus tard par Bohm [1952].

La genèse qui vient d'être rappelée est importante parce qu'elle conduit à comprendre tout à coup en quoi consiste la généralisation qui, dans MQ_{HD} conduit à l'équation $\mathbf{A}|u_j(x)\rangle = a_j|u_j(x)\rangle$, $j = 1, 2, \dots$, avec sa solution $(\{a_j\}, \{|u_j(x)\rangle\}, \forall j)$:

La fonction d'onde $u_j(x)$ logée dans le ket $|u_j(x)\rangle$ 'propre' à la valeur a_j du spectre de l'observable \mathbf{A} , joue dans MQ_{HD} le rôle d'une représentation mathématique débarrassée de limitation spatiale, d'un certain échantillon de mouvement ondulatoire. À savoir, le mouvement ondulatoire qui est *tel* que, si l'aspect corpusculaire d'un microétat est entouré d'un mouvement ondulatoire de *cette* sorte, alors la valeur a_j de la grandeur A qui qualifie en termes mécaniques le mouvement dans l'onde de la *location* de 'la singularité à aspect corpusculaire de l'amplitude', reste invariante au passage du temps.

6.2.2.2. Conséquences

D'ores et déjà il s'agit là d'une élucidation non-triviale, car elle entraîne les conséquences suivantes.

I. D'abord, à partir d'elle on comprend par quelle *voie* historique, dans MQ_{HD} , l'on a été conduit à associer à chaque valeur propre a_j de l'opérateur \mathbf{A} , séparément, sa propre dimension sémantique $|u_j(x)\rangle$, cependant que dans la pensée classique une dimension sémantique unique sous-tend – en commun – toutes les 'valeurs' que l'on veut prendre en considération sur la dimension sémantique choisie : En l'absence de toute quale sensorielle – cette complexification de la représentation classique d'un aspect qualifiant est utile afin de pouvoir construire une représentation mathématique détaillée des relations entre le mouvement de la location de l'aspect 'corpusculaire' assigné à un microétat, et une grandeur mécanique A qui qualifie ce mouvement. Pour ce but là il convient en effet d'analyser plus que dans notre conceptualisation courante, le concept classique de dimension sémantique (de genre le plus proche), en distinguant entre :

(a) Un descripteur mathématique \mathbf{A} de, exclusivement, les caractères généraux qui sont communs à l'entière classe d'effets dynamiques que la grandeur mécanique A peut produire sur la location mobile à laquelle elle est attachée.

(b) Un descripteur $(|u_j(x)\rangle, a_j)$ consistant dans une paire d'éléments descriptionnels où, cependant que $|u_j(x)\rangle$ définit les conditions de *persistance* de la valeur a_j , cette valeur a_j elle-même caractérise spécifiquement le seul *degré* du type général d'effet observable

que la grandeur mécanique A produit sur le mouvement de la location de l'aspect 'corpulaire' du microétat étudié.

Voilà explicitée l'une des raisons de l'utilité du choix, pour représenter des caractérisations de microétats, d'un espace Hilbert, avec des bases de fonctions propres où chaque élément correspond à un seul ket propre, avec sa valeur propre correspondante¹²⁸.

2. Les traces évidentes du modèle d' 'onde corpusculaire' dans l'équation $\mathbf{A} |u_j(x)\rangle = a_j |u_j(x)\rangle$, $j = 1, 2, \dots$, telles qu'elles ont été indiquées plus haut, suffisent pour établir que MQ_{HD} n'est pas strictement vide de modèle de microétat.

On commence à subodorer que l'assertion tranchée de Bohr de l'absence, dans MQ_{HD} , de tout modèle de microétat, et de l'interdiction d'un tel modèle, pourrait ne pas être soutenable sans des acrobaties philosophiques compliquées qui en outre diminuent l'efficacité de la représentation. Mais ce point sera examiné à part, plus loin.

3. Quant à la signification descriptionnelle globale identifiée pour la fonction d'onde $u_j(x)$, elle évapore le 'problème' de non-normabilité, en général, des ket propres.

Car pourquoi donc l'expression mathématique d'une condition de constance d'une valeur a_j d'une grandeur mécanique A , devrait-elle pouvoir être normée à 1 ? Quand il s'agit là du descripteur mathématique d'une qualification de nature essentiellement individuelle ? C'est sa non-normabilité qui est à requérir de façon expresse, comme un trait formel spécifiquement adéquat au contenu sémantique du concept. Exiger la normation d'un tel élément descriptionnel serait une violation de son sens¹²⁹.

Bref, les considérations qui précèdent entraînent que :

- Une base $\{|u_j(x)\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots$ dans l'espace de représentation \mathcal{E} qui généralise un espace Hilbert de fonctions intégrables en module carré, est constituée par une représentation mathématique de l'ensemble des conditions de persistance de telle ou telle valeur numérique a_j assignable à la grandeur mécanique A conçue comme un qualificateur d'un microétat individuel.

- Donc les décompositions 'spectrales' $|\Psi(x, t)\rangle = \sum_j c_j |u_j(x, t)\rangle$ d'un ket d'état $|\Psi\rangle$, sur une base $\{|u_j(x)\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots$ de ket propres à une observable dynamique \mathbf{A} , sont une sorte des 'décompositions sémantiques' selon les éléments d'un système de substituents mathématiques de qualia sensibles qui sont absentes : via les ket propres $|u_j(x)\rangle$, ces qualia absentes de la sensibilité acquièrent une symbolisation mathématique de la nature sémantique qui leur est assignée ; cependant que via les coefficients d'expansion, les valeurs individuelles a_j qu'on leur assigne par codage des résultats de mesure, sont reliées aux statistiques prévisionnelles associées à de tels résultats.

- Alors la théorie des transformations des bases de Dirac est elle aussi concevable comme une sorte de calcul de 'passage sémantique' d'une représentation face à un sys-

¹²⁸Cette explicitation – comme d'ailleurs la totalité de ce travail – pourrait intéresser les nouvelles communautés de pensée scientifique dénommées "quantum structures", ou "quantum interactions", ou "social quantum sciences", qui ont émergé relativement récemment et s'élargissent constamment.

¹²⁹L'esprit de l'homme est dominé par une tendance très forte à généraliser à toute circonstance, ce qui s'est déjà montré utile dans une seule circonstance précédente : les extrapolations inertielles sont à surveiller très étroitement dans les processus de conceptualisation.

tème donné de substituts mathématiques de *qualia* sensibles, à un autre système de tels substituts¹³⁰.

Bref, MQ_{HD} semble inclure l’embryon d’un calcul crypté avec des contenus sémantiques. Et selon l’analyse sémantique-mathématique que nous venons de faire, dans ce calcul le rôle spécifique des ket propres est foncièrement distinct du rôle spécifique majeur d’un ket d’état $|\Psi\rangle$ qui, via les modules carrés $|c_j|^2$ des coefficients d’expansion c_j , permet de représenter les statistiques prévisionnelles d’enregistrements de mesure d’une observable mécanique \mathbf{A} , codés en termes de valeurs propres a_j . C’est exclusivement pour cette raison, qui pour l’essence conceptuelle d’un ket propre n’agit pas, qu’un ket d’état *doit* en effet être normable en module carré, afin de pouvoir assurer la cohérence avec le concept de stabilité probabiliste.

Les ket propres d’une part, et d’autre part les ket d’état, sont deux catégories de descripteurs dont les rôles sémantiques dans MQ_{HD} sont foncièrement distincts l’un de l’autre. Or il convient de séparer au maximum les forces d’expression sémantique qui sont spécifiques de chaque élément donné d’un langage mathématique de représentation d’un domaine de faits physiques, car ce sont ces forces là qui permettent d’utiliser ce langage de manière optimale. Effacer les contours des contenus de sens, sous des similitudes de forme mathématique, n’est pas une économie d’expression, ce n’est que source de confusions qui brouillent l’intelligibilité.

6.2.3. *Un modèle IMQ- MQ_{HD} de ‘G-onde corpusculaire’ associable au concept de ‘microétat’*

Examinons maintenant la question suivante.

Que devient le modèle onde-à-aspect-corpusculaire d’un microétat de Louis de Broglie – qui, on vient de le voir, est impliqué dans MQ_{HD} , par construction – lorsqu’on le confronte avec le résultat d’une opération de génération G accomplie par un concepteur-observateur humain, dénoté ‘ me_G ’ dans IMQ ?

L’on peut commencer par les remarques suivantes.

(a) L’opération G doit être conçue comme introduisant, lors de chacune de ses répétitions, un exemplaire du microétat correspondant me_G ; et celui-ci comporte, non pas exclusivement une onde physique – ce que tout le monde accepte – mais en outre aussi, soit une seule ‘singularité à aspects corpusculaires’ de l’amplitude de cette onde s’il s’agit (au sens des définitions de 2.4.2) d’un microétat d’un seul microsystème, ou soit plusieurs telles singularités lorsqu’il s’agit d’un microétat de n microsystèmes, $n = 2, 3, \dots$. Car en général une onde n’accepte pas des qualifications mécaniques de ‘mobile’, tandis que toute singularité fortement localisée dans l’amplitude d’une ‘onde corpusculaire’ accepte des qualifications de cette nature, en conséquence de sa seule localisation spatiale, nonobstant l’absence d’une structure interne de ‘mobile solide’.

(b) Il paraîtrait gratuit – et aussi naïf en un certain sens – de concevoir que l’opération G , accomplie à l’aide d’appareils fabriqués depuis le niveau macroscopique par les observateurs-concepteurs humains – et qui en général sont même physiquement transparents face à des microsystèmes – puisse couper radicalement la portion de l’onde physique assignée à un microétat, du substrat physique a-conceptuel duquel elle provient. Il paraît

¹³⁰Cette constatation sera précisée formellement.

sensé de concevoir au contraire que chaque réalisation de l'opération de génération G 'atrape' une onde à 'aspects corpusculaires' par une ou plusieurs singularités dans son amplitude – si l'on peut dire – et en offre ainsi une région de cette onde à des qualifications mécaniques via des actes de mesure à résultat connaissable et exprimable en termes d'une grandeur 'mécanique' ; cependant que le gros du corps de cette onde reste immergé dans le continuum du réel physique a-conceptuel¹³¹.

En outre – afin de rester aussi cohérent que possible avec la décision méthodologique générale $G \leftrightarrow me_G$ de *IMQ* (2.2.3), et aussi minimal que possible dans les hypothèses de modélisation – il paraît convenable de considérer que :

(c) La structure 'régulière' (au sens mathématique) de la portion d'onde corpusculaire que l'opération G rend disponible pour des qualifications futures, est la même pour tous les exemplaires du 'microétat me_G ' (au singulier grammatical) produits par G .

(d) L'emplacement à l'intérieur de cette portion d'onde corpusculaire commune, de la singularité de l'amplitude physique d'un exemplaire donné¹³², varie en général d'un exemplaire à un autre du 'microétat me_G '¹³³.

(e) Conformément aux représentations utilisées dans l'approche de Broglie-Bohm et dans les travaux des physiciens actuels de l'école de Bohm (Holland [1993], ainsi qu'un nombre d'autres auteurs), l'on est conduit à poser aussi la bien connue 'loi de guidage'.

Le gradient de la phase de la fonction d'onde qui représente mathématiquement la structure de l'onde corpusculaire au voisinage d'une singularité dans l'amplitude de l'onde physique assignée à un 'microétat', définit la vitesse et la quantité de mouvement, au sens classiques, qui sont assignables à cette singularité.

Or cette dernière notion place la pensée de modélisation – strictement – *sur* la frontière entre mécanique classique d'une part, et d'autre part la mécanique ondulatoire et la

¹³¹Après l'éducation de 'pureté' non-modélisante subie par les physiciens qui vivent actuellement, une telle façon de concevoir et de dire peut être ressentie comme primitive, et même comme malséante à l'intérieur d'une physique moderne. Mais n'oublions pas le nombre de penseurs actuels qui considèrent que le concept d'une 'substance physique fondamentale' (au sens de la pensée de Spinoza) est incontournable ; ni le nombre de physiciens qui adhèrent aux concepts de 'milieu sub-quantique' et de 'forces quantiques' dérivant de 'potentiels quantiques', sans lesquels l'essence même de la microphysique s'effacerait ; ni, enfin, l'entière théorie des particules élémentaires qui fourmille de modèles plus ou moins spécifiés. Le fait est que la microphysique moderne oblige l'esprit humain, d'une part, à s'avancer jusqu'aux frontières entre aconceptuel et conceptualisé, et d'autre part, à poser des modèles concernant les échanges qui ont lieu sur ces frontières. Car cela est à la fois nécessaire et efficace pour le processus de conceptualisation, dans l'exacte mesure où cela est pratiqué exclusivement en tant qu'une procédure méthodologique épurée de toute trace de croyance en la 'vérité en soi' des modèles utilisés. Entre l'esprit de l'homme – et celui des autres animaux aussi – et le réel 'en soi' qui *échappe* à la connaissance – si on les distingue mutuellement – l'on est poussé à, corrélativement, postuler une certaine sorte de cohérence indicible, en tant qu'une clôture-limite de laquelle émanent les 'adaptations' du vivant. Celle-ci, évidemment, n'est elle-même qu'un modèle global mais qui ne se manifeste que par l'intermédiaire de modèles locaux, à concevoir comme *des incontournables outils de conceptualisation*, de nature méthodologique.

¹³²Dans les travaux de l'école de Louis de Broglie cette amplitude est dénotée autrement que l'amplitude ' a ' abstraite, de la fonction d'onde $a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ de MQ_{HD} , qui intervient dans le calcul des probabilités de présence (par exemple par ' f ') afin d'éviter toute confusion entre une onde mathématique dont le rôle est d'intervenir dans le calcul de statistiques prévisionnelles concernant les résultats d'actes individuels de mesure, et d'autre part, une description mathématique d'un état de microétat physique individuel : c'est l'essence de la 'théorie de la double solution'.

¹³³Dès que cette vue a été formulée, l'on réalise que l'absence, dans l'interprétation de Broglie-Bohm, de toute manière opérationnelle de se 'donner' le microétat à étudier, est une lacune absolutisante qui sépare foncièrement cette pure *interprétation* de MQ_{HD} , de l'approche constructive opérationnelle-épistémologique-méthodologique élaborée dans *IMQ*, qui, elle, est conçue d'emblée comme soumise à des conditions de vérifiabilité factuelle. Cette lacune y rend impossible une *représentation des processus d'émergence des descriptions statistiques d'un microétat*, via des répétitions de successions d'opérations [$G.Mes(X)$] physiques et individuelles. L'approche de Broglie-Bohm, par construction, laisse de côté délibérément l'entière question du codage de marques physiques observables produites par un acte de mesure, en termes d'une valeur de la grandeur mécanique mesurée. Pour cela l'on fait confiance à MQ_{HD} , qui n'est nullement mise sur une sellette critique.

mécanique quantique.

Le modèle qui vient d'être spécifié via les caractéristiques (a)-(e) sera appelé 'le modèle *G*-onde-corpulaire' et il sera dénoté $me_{G,oc}$. Et – tentativement – nous posons le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ suivant :

$\mathcal{PM}(me_{G,oc})$. Tout exemplaire individuel du microétat me_G correspondant à l'opération de génération G obéit au 'modèle *G*-onde-corpulaire' $me_{G,oc}$.

Par le postulat $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ le modèle 'onde à aspects corpusculaires' de Louis de Broglie, quitte le domaine du métaphysique où il a été placé originellement et – via l'opération G , les successions de mesure $[G.Mes(A)]$, et l'exigence de la spécification d'un codage $Cod(G,A)$ – il rejoint la démarche de construction scientifique de connaissances vérifiables et consensuelles de *IMQ*.

Dans ce qui suit nous raisonnerons sur la base du postulat $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ ¹³⁴.

Mais, comme tout postulat physique, le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ ne sera conservé que si les conclusions observables qu'il implique se vérifient expérimentalement.

Notons maintenant un fait descriptionnel-conceptuel remarquable :

Le modèle $me_{G,oc}$ met a posteriori en disponibilité la radicalité si difficilement pensable de la décision méthodologique *DM* de *IMQ* de poser – provisoirement – la relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$. En effet la postulation du modèle $me_{G,oc}$ revient à installer désormais explicitement un concept nouveau qui s'est déjà glissé progressivement dans notre langage, à savoir le concept d' 'exemplaires individuels' mutuellement distincts du 'microétat me_G ' qui, initialement et provisoirement, avait été posé par pure méthode comme unique et biunivoquement lié à une opération de génération G donnée, afin de ne pas léser le caractère causal des représentations rationnelles humaines. L'introduction de ce concept d'un exemplaire individuel du microétat étudié, scinde après coup l'étiquetage initial unique ' me_G ' de *IMQ*, en tout un ensemble d'exemplaires individuels du microétat me_G correspondant à G et au modèle $me_{G,oc}$. Dénotons alors par $me_{G,exi}$ un tel exemplaire du microétat $me_{G,oc}$. Désormais, lorsqu'on veut parler en termes individualisés au maximum face aux moyens descriptionnels qui sont définis dans la phase présente du développement de cette approche, à la place du symbole me_G l'on est autorisé à écrire

$$me_G \equiv \{me_{G,exi}\}$$

Donc à la place du symbole $G \leftrightarrow me_G$ l'on pourra écrire le symbole

$$G \leftrightarrow \{me_{G,exi}\}$$

et renoter la 'décision méthodologique *DM* de 2.2.3 sous la nouvelle forme

$$(me_G \equiv \{me_{G,exi}\}, G \leftrightarrow \{me_{G,exi}\}) \quad (DM')$$

Ceci revient à finalement concevoir et exprimer – a posteriori – une 'explication', une cause du *fait de connaissance* que le caractère de l'ensemble des groupes de marques physiques observables produit par un grand nombre de répétitions d'une succession d'opérations $[G.Mes(A)]$, se manifeste en général comme étant 'primordialement' statistique.

¹³⁴Cela jouera un rôle crucial dans 6.4, lors de la reconstruction de la théorie des mesures quantiques.

Ainsi le caractère délibéré, finaliste, des actions constructives de connaissances spécifiques nouvelles, en partant d'un zéro local de connaissances spécifiques, et le caractère causal des explications rationnelles humaines, se donnent la main à l'intérieur de la projection a-temporelle de l'une de ces boucles étranges spiralées qui s'accomplissent le long de la verticale autour de laquelle se construit un processus de conceptualisation bottom-up. Nous sommes en présence d'une illustration remarquable des caractéristiques si difficiles à concevoir d'emblée – examinées en détail dans le chapitre 3 – qu'introduit un processus de conceptualisation constructive qui débute 'bottom-up', en s'insérant d'abord dans du réel physique a-conceptuel à l'endroit d'un zéro local de connaissances préconstituées concernant spécifiquement l'entité physique à étudier ; un processus qui ensuite seulement procède 'vers le haut' de la verticale de nos conceptualisations, vers nos conceptualisations macroscopiques, classiques, du réel physique, celles qui, chronologiquement, ont été les premières à s'être constituées et ensuite ont été développées par un processus 'top-down'.

Et cette illustration met également en évidence les distinctions que nous proposons, entre choix méthodologique de langage, et désignation de 'vérité'.

L'on peut enfin de comprendre intuitivement comment une modélisation explicative d'une construction qui a d'abord été élaborée sur la seule base du concept *IMQ* de description primordialement transférée, peut n'apparaître que bien plus tard, cependant que, à partir des descriptions transférées des microétats, l'on progresse vers le 'haut' de la verticale des phases de conceptualisation.

Et l'on peut enfin comprendre intuitivement que *IMQ* joue le rôle d'une structure de référence *génétique* et qui construit sous loupe le point de départ d'un vaste processus dynamique de conceptualisation, foncièrement distinct de la conceptualisation classique, qui n'expose à la perception directe qu'une structure achevée, statique. On voit comment, et en quels sens multiples et imprévisibles, *IMQ* constitue le domaine de conceptualisation qui manquait afin de gagner prise sur les sens incorporés dans le formalisme quantique ; un domaine de conceptualisation organisé de telle façon qu'il permette de sortir de *MQ_{HD}* sans pour autant se trouver dans un 'no man's land' conceptuel où rien ne permet de former des conclusions définies et fondées concernant cette théorie, et qui permette également d'en réorganiser la structure intérieure.

Enfin, l'on peut également comprendre de manière intuitive la différence entre *IMQ* et les conceptualisations précédentes d'entités physiques microscopiques, qui ont été construites en descendant à partir du niveau classique, vers un substrat de réel physique aconceptuel qui n'était jamais pris en considération explicite et qui n'avait jamais encore été atteint, touché, pénétré, ni conceptuellement, ni, *a fortiori*, opérationnellement et donc n'a jamais pu imprimer ses propres marques, spécifiques.

Bref, le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ ne constitue nullement une régression dans des ontologisations critiquables. Il exprime au contraire une avancée post-dogmatique libératrice, exigée par le but de construire une mécanique des microétats qui puisse extraire la mécanique quantique actuelle de l'état où elle se trouve à la suite d'oscillations confuses entre des interdictions philosophiques édictées arbitrairement, et l'exigence d'une certaine sorte de cohérence génétique, [a priori-a posteriori], étouffée (faute d'une origine d'évolution), mais qui lutte pour une existence légalisée.

Les conséquences du postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ complètent les apports initiaux de *IMQ* – que l'on a voulu doter d'abord d'une généralité apte à inclure *toute*

action de qualification d'un microétat (2.3.2.2) – en précisant désormais ces apports de façon à les adapter spécifiquement à la constructibilité d'une *mécanique* des microétats vérifiable par des mesures (2.3.2.3).

6.2.4. Conclusion globale sur le point 6.2

Bohr, qui a vécu les débuts de la mécanique quantique, a perçu d'une manière aigüe le fait que la nature des descriptions qui se faisaient jour était très différente de la nature des descriptions classiques qui présupposent qu'un 'objet' qui préexiste indépendamment de l'observateur-concepteur humain et 'possède' des propriétés qui lui sont intrinsèques, est qualifié par des prédicats qui eux aussi préexistent tout faits dans l'air du temps, et 'constatent' par comparaison avec eux-mêmes ces propriétés intrinsèques préexistantes dans l'objet. Bien que Bohr n'ait pas donné une caractérisation accomplie et un nom à ce qui dans *IMQ* a été dénommé 'une description primordialement transférée', il a été frappé par le fait que la mécanique quantique qui s'élaborait produisait des descriptions d'un type non-classique. Et alors, afin d'opposer une digue aux résistances opposées par la pensée classique, il a trouvé la parade radicale de décréter l'interdiction absolue de tout modèle 'ontologisant'. C'était une sorte de mesure de protection du processus de croissance qu'il voulait assurer à la nouvelle conceptualisation.

Mais en faisant cela il a omis de noter que sans aucun modèle il n'est pas possible de formuler des règles pour coder les marques observables produites par un acte de mesure, en termes d'une valeur numérique d'une grandeur mécanique importée de la physique classique. C'est à dire, il a omis de noter que sans aucun modèle on ne peut pas mesurer. Ni plus, ni moins.

Malgré cela, la construction de la mécanique quantique s'est développée, mais en laissant en dessous de son horizon de perceptibilité, les opérations *G* de génération de ces choses interdites à la pensée qu'étaient les exemplaires individuels, physiques, actuels, de fragments de ce phénomène dénommé a priori un 'microétat'. Une sorte de refoulement freudien a-personnel.

Les effets de ce fait se feront jour dans le chapitre 7.

6.3. L'opération *G* de génération d'un microétat comme spécificateur du sens physique-conceptuel d'expressions formelles de *MQ_{HD}*

Dans ce qui suit il apparaîtra progressivement que – hormis le fait essentiel que le concept *IMQ* d'opération de génération d'un microétat permet de spécifier un modèle de microétat doté d'un caractère opérationnel – ce concept introduit aussi des critères remarquables d'élucidation du sens physique des représentations formelles de *MQ_{HD}*.

6.3.1. Ket propres versus *G*

Dans *MQ_{HD}* tout ket d'état est introduit en tant qu'un représentant mathématique d'un microétat à étudier. Donc lorsqu'on se réfère à *IMQ* cela crève les yeux d'emblée que tout ket d'état implique à sa base factuelle une opération *G* physique et individuelle de génération d'exemplaire physiques, individuels, actuels, du microétat *me_G* que l'on veut étudier.

Cependant qu'un ket propre, puisqu'il représente un caractère qualifiant, pas une entité physique mise à disposition pour des qualifications subséquentes, n'implique aucune

opération physique de génération, car la structure et le contenu d'une qualification sont toujours juste construites et posés par le concepteur-observateur humain¹³⁵.

Donc le concept d'opération G de génération d'exemplaires physiques et individuels d'un microétat donné – lorsqu'il est connu et employé – préserve a priori du faux problème de la non-normabilité (en général) des ket propres.

6.3.2. Ket d'état versus G

6.3.2.1. Décomposition spectrale d'un ket d'état ou 'superposition' de plusieurs ket d'état

La référence à l'opération de génération G est utile également afin de distinguer, entre la signification d'une décomposition spectrale d'un ket d'état, et d'autre part la signification d'une superposition mathématique de plusieurs ket d'état, ces deux écritures très courantes dans MQ_{HD} .

Selon le *principe de décomposition*¹³⁶ *spectrale* de MQ_{HD} , un ket quelconque de l'espace de représentation E peut toujours être représenté par la somme de ses projections sur les éléments d'une base $\{|u_j(x,t)\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots$ de ket propres de \mathcal{E} liée à une observable \mathbf{A} , i.e. par toute expression du type $|\psi(x,t)\rangle = \sum_j c_j |u_j(x,t)\rangle$.

D'autre part, en langage d'algèbre mathématique une 'somme' est couramment dénommée une 'superposition'.

Enfin, la définition du concept de 'structure algébrique d'espace vectoriel' comporte l'*axiome* mathématique selon lequel à l'intérieur d'un espace vectoriel \mathcal{V} toute superposition de deux ou plusieurs éléments de l'espace, dénommés des 'vecteurs' de l'espace, est elle aussi un vecteur du même espace.

En appliquant ces manières de s'exprimer, aux espaces \mathcal{H} et \mathcal{E} de MQ_{HD} , on dit couramment que le deuxième membre d'une décomposition spectrale $|\psi(x,t)\rangle = \sum_j c_j |u_j(x,t)\rangle$ 'est une superposition d'états', sans spécifier qu'il s'agit d'états *propres* à une observable quantique, ni que le ket d'état $|\psi(x,t)\rangle$ est posé pouvoir être représenté de cette façon sur la base d'un principe de décomposabilité spectrale qui ne concerne *que* les aspects purement mathématiques des descripteurs $|\psi(x,t)\rangle$ et $|u_j(x,t)\rangle$, $j = 1, 2, \dots$

Ceci rappelé, considérons maintenant un microétat $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ produit par ce qu'on appelle dans IMQ 'une opération de génération composée' $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ (2.2.4). Ce concept a été introduit dans IMQ en relation avec le cas des 'trous d'Young' qui a conduit à poser un principe au sens de la physique selon lequel, lors de la réalisation d'une opération de génération dénotée $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ peuvent se trouver 'composées' factuellement n opérations de génération d'un microétat, G_1, G_2, \dots, G_n , que l'on peut réaliser aussi séparément, mais qui, pour engendrer le microétat unique dénoté $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$, ont

¹³⁵Cela revient à noter que sur un méta-niveau d'examen des processus de conceptualisation, la construction d'une structure qualifiante possède une genèse *psychique*, elle naît par le fonctionnement de la conscience du concepteur-observateur humain et elle reflète ses *buts* cognitifs.

¹³⁶Il vaudrait mieux dire 'décomposabilité'. Et notons qu'il s'agit là d'un principe de possibilité mathématique, pas d'un principe au sens 'matériel' de la physique.

été utilisées toutes (à la fois, ou pas)¹³⁷.

Dans cette situation factuelle-conceptuelle et avec les langages rappelés, dans MQ_{HD} l'on est conduit à représenter mathématiquement le microétat $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ par un ket d'état de l'espace \mathcal{H} (et donc aussi de \mathcal{E}) qui possède la forme

$$|\Psi_{12, \dots, n}(x, t)\rangle = \lambda_1 |\Psi_1(x, t)\rangle + \lambda_2 |\Psi_2(x, t)\rangle + \dots + \lambda_n |\Psi_n(x, t)\rangle$$

d'une superposition mathématique des n kets d'état, où $|\Psi_1(x, t)\rangle, |\Psi_2(x, t)\rangle, \dots, |\Psi_n(x, t)\rangle$ représentent, respectivement, les microétats – physiques et individuels – $me_{G_1}, me_{G_2}, \dots, me_{G_n}$ qui *auraient* été produits, respectivement, par les opérations de génération G_1, G_2, \dots, G_n , si celles-ci *avaient* été utilisées *séparément*. Et en conséquence de cela l'on dit que le ket d'état $|\Psi_{12, \dots, n}(x, t)\rangle$ – associé à l'unique microétat physique et individuel $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ qui est effectivement réalisé par l'unique opération de génération composée $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ qui a été réalisée physiquement – 'est un état de superposition'. Or cette façon de dire conduit à une confusion très grave :

Elle suggère fortement que le ket d'état $|\Psi_{12, \dots, n}(x, t)\rangle$ représenterait, non pas une superposition d'éléments descriptionnels mathématiques, imposée par un axiome mathématique de structure d'espace vectoriel, mais une superposition *physique* des n microétats physiques et individuels $me_{G_1}, me_{G_2}, \dots, me_{G_n}$, qui '*existeraient*' tous *physiquement à l'intérieur du microétat* $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ et y '*interagiraient*' ou y '*interféreraient*'¹³⁸, ce qui, évidemment, présuppose qu'ils ont été tous effectivement produits.

Or selon IMQ cette interprétation n'est pas cohérente, ni avec les implications du langage courant, ni avec la relation de un-à-un posée par la décision méthodologique DM (2.2.3), selon laquelle *une* opération de génération $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ correspond à *un* microétat $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$: les diverses sources qui interviennent et les divers langages et sens que ces sources diverses introduisent, se mélangent et troublent la cohérence globale. L'utilisation conjointe, dans MQ_{HD} , du principe mathématique de décomposition spectrale, de

¹³⁷Dans 2.2.4 nous aurions pu introduire la dénomination de 'principe physique de *superposition* des opérations de générations G de microétats', au lieu de la dénomination 'principe physique de *composabilité* d'opérations de génération G '. Mais un tel choix de langage aurait introduit un vrai chaos conceptuel, comme on peut aisément comprendre lorsqu'on pense aux différents contextes dans lesquels, d'ores et déjà, l'on parle indistinctement en termes de 'superpositions', qu'elles soient mathématiques ou physiques. En outre, les conditions d'espace-temps dans lesquelles plusieurs opérations G de génération de microétat sont effectivement composables, restent encore obscures. Le seul fait qui s'impose factuellement avec clarté, est que certaines opérations G de génération de microétats peuvent être composées de manière à en faire ce qu'il est utile de pouvoir appeler 'une seule' opération de génération du microétat unique que l'on veut étudier (penser au cas des trous d'Young). Pour ces raisons nous avons choisi dans 2.2.4 d'introduire la dénomination de 'principe (physique) de composabilité – en certains cas – de plusieurs opérations de génération G '. Dans ces conditions, du point de vue formel, *l'algèbre générale que, vraisemblablement, l'on pourra un jour poser sur l'ensemble des opérations de génération composables*, n'est pas encore définie. Ceci, pour la construction parachevée d'une deuxième mécanique quantique, est un point important et difficile. Nous le signalons aux mathématiciens et nous y reviendrons dans le chapitre 9.

¹³⁸Une telle vue est induite par l'émergence de 'figures d'interférence' lorsqu'on répète, par exemple, sur des exemplaires distincts d'un microétat physique $me_{G_{12}}$, des successions [(opération G_{12}).(*mesure de position*)]. Mais c'est une vue qui ne peut pas être retenue. Car dans l'état à génération composée $me_{G_{12}}$ qui est effectivement engendré, les deux états me_{G_1} et me_{G_2} ne sont pas entièrement individualisés physiquement l'un par rapport à l'autre, ils sont seulement conçus en conséquence de l'usage des éléments opérationnels G_1 et G_2 qui se composent dans l'opération G_{12} et qui, eux, sont en effet d'abord définis séparément, autant du point de vue conceptuel que factuellement ; par exemple, dans le cas des trous d'Young chacun des deux éléments descriptionnels me_{G_1} et me_{G_2} ne se manifeste pleinement lui-même que lorsqu'on réalise séparément G_1 et G_2 (les procédures 'trou 1 ouvert et trou 2 fermé, ou vice versa), cependant que lorsqu'on réalise l'opération G_{12} , ce qu'on observe est une figure globale spécifique que l'on peut *concevoir* comme le résultat d'une 'interaction' entre les manifestations séparées de me_{G_1} et me_{G_2} utilisées comme éléments de référence. Toutefois cette vue d'interaction dans $me_{G_{12}}$, de me_{G_1} et me_{G_2} est très difficile à éviter en l'absence de toute définition explicite du concept d'opération de génération d'un microétat. (Attention, lorsqu'il s'agit d' "information quantique").

l'axiome mathématique de superposition, et d'un principe mathématique de décomposabilité spectrale, s'y mélange avec la notion d'un principe de superposition au sens de la physique, et il en résulte un intime amalgame conceptuel.

Et c'est précisément en cette situation que l'on peut mesurer toute la force d'élucidation que comporte la prise en compte explicite de l'opération G de génération qui agit dans chaque cas donné.

En effet, lorsque, sur le terrain conceptuel fourni par IMQ , l'on descend jusqu'au début du phénomène physique et individuel auquel se rapporte un ket d'état $|\Psi_{12, \dots, n}(x, t)\rangle$ de 'superposition' mathématique, l'on y trouve une opération de génération de la forme $G \equiv G(G_1, G_2, \dots, G_n)$. Donc on comprend que :

- à cette source intervient un principe – physique – de 'composabilité' des opérations de génération du microétat physique et individuel à étudier ;

- à l'intérieur du formalisme d'espace vectoriel de MQ_{HD} où agit un axiome mathématique de superposabilité des vecteurs de l'espace utilisé, ce principe physique initial formulé dans IMQ a été traduit en termes d'une superposition mathématique de ket d'état ;

- la traduction mentionnée permet de comprendre que l'unique microétat physique et individuel $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ engendré par l'unique opération de génération $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ qui a été effectivement accomplie, comporte des manifestations observables spécifiques qui, formellement, peuvent être représentées comme des 'interférences' entre les termes $|\Psi_1(x, t)\rangle, |\Psi_2(x, t)\rangle, \dots, |\Psi_n(x, t)\rangle$ de la superposition mathématique de ket d'états globalement dénotée ' $|\Psi_{12, \dots, n}(x, t)\rangle$ ', chacun de ces termes étant conçu comme lié à l'un des microétats *virtuels*, de *référence*, dénotés $me_{G_1}, me_{G_2}, \dots, me_{G_n}$ qui correspondraient aux réalisations *séparées* d'opérations de génération G_1, G_2, \dots, G_n , si celles-ci avaient été réalisées, mais qu'en fait ces réalisations séparées n'ayant pas été effectuées, les microétats correspondants $me_{G_1}, me_{G_2}, \dots, me_{G_n}$, n'ont pas été générés et que c'est pour cette raison qu'ils sont à utiliser exclusivement comme des éléments virtuels de référence.

Par prise en compte explicite de toutes opérations de génération qui interviennent dans la conceptualisation, tous ces caractères acquièrent un support et une expressibilité réglée.

Et si l'on considère maintenant une décomposition spectrale $|\psi(x, t)\rangle = \sum_j c_j |u_j(x, t)\rangle$, alors le ket d'état du membre gauche conduira à concevoir qu'une opération de génération G a dû engendrer le microétat représenté – simple ou composée – mais qui en tout cas est *unique* ; car aucun terme $c_j |u_j(x, t)\rangle$ du membre de droite ne présuppose en général une autre opération de génération, puisqu'un ket *propre* n'est en général qu'un modèle mathématique de mouvement ondulatoire (6.2.2.1), ce n'est en général pas un ket d'état qui représente un microétat physique produit par une opération de génération G . Il est donc clair d'emblée que le deuxième membre ne représente pas une superposition *physique*, qu'il s'agit d'une superposition abstraite d'éléments descriptifs mathématiques de l'espace vectoriel de représentation, permise par l'axiome mathématique de superposition impliqué dans la définition de la structure d'un tel espace.

Notons que le formalisme mathématique de MQ_{HD} , lui, ne manque pas de traiter une décomposition spectrale d'un ket (qu'il soit d'état, ou propre), *autrement* qu'une superposition de ket d'état :

- Une décomposition spectrale $|\psi(x, t)\rangle = \sum_j c_j(t) |u_j(x)\rangle, j = 1, 2, \dots$ comporte un nombre de termes qui – en général – est infini, avec des coefficients $c_j(t)$ complexes et fonctions du temps et des kets propres $|u_j(x)\rangle$ fonctions seulement de x .

- Tandis que dans l'écriture d'un ket d'état 'de superposition' $|\Psi_{1,2,\dots,n}(x,t)\rangle = \lambda_1 |\Psi_1(x,t)\rangle + \lambda_2 |\Psi_2(x,t)\rangle + \dots + \lambda_n |\Psi_n(x,t)\rangle$ lié à une opération composée $G(G_1, G_2, \dots, G_n)$ de génération du microétat individuel décrit par le ket d'état $|\Psi_{1,2,\dots,n}(x,t)\rangle$, les termes sont en nombre n fini, les coefficients sont constants et d'habitude réels, et les kets superposés sont des fonctions de temps.

Cela est remarquable. Un système formel reflète l'existence et le fonctionnement d'une sorte d' 'inconscient' a-personnel, à la Karl Gustav Jung, qui instille certaines contraintes dans l'esprit des utilisateurs d'un système formel, en tant que contraintes de cohérence mathématique. Mais les sources factuelles de ces contraintes de cohérence n'y sont plus perceptibles. Et en conséquence de cela le fait que le concept d'opération de génération G d'un exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G ait été extérieur à la genèse du formalisme de MQ_{HD} , risque d'avoir marqué de conséquences irréversibles l'intelligibilité du formalisme quantique, et même sa cohérence formelle.

Pendant que, dans la représentation nouvelle qui est ici en cours de construction, les recours systématiques au concept d'opération G de génération du microétat physique et individuel étudié, permettent d'identifier de manière claire et lapidaire les significations physiques, et plus généralement sémantiques, des spécificités des différentes écritures mathématiques de MQ_{HD} . Il s'agit là d'une possibilité notable de guidage et de contrôle.

6.3.2.2. Convention

Pour cette raison nous introduisons désormais la convention générale suivante. Tout ket d'état sera symbolisé par le signe $|\Psi_G\rangle$ où l'indice 'G' sera complété de toutes les manières utiles dans le contexte considéré (par exemple, on pourra écrire $|\Psi_{G_t}\rangle$ lorsqu'on voudra souligner qu'il s'agit d'un ket d'état $|\Psi(t)\rangle$ lié à une opération de génération $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ du type défini dans 2.8). En particulier, pour une décomposition spectrale nous écrirons désormais :

$$|\Psi_G(x,t)\rangle = \sum_j c_j(t) |u_j(x)\rangle, j = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Et pour un ket d'état 'de superposition' (mathématique) nous écrirons désormais :

$$|\Psi_{\mathbf{G}(G_1, G_2, \dots, G_n)}(x,t)\rangle = \lambda_1 |\Psi_{G_1(x,t)}\rangle + \lambda_2 |\Psi_{G_2(x,t)}\rangle + \dots + \lambda_n |\Psi_{G_n(x,t)}\rangle \quad (2)$$

où : l'indice $\mathbf{G}(G_1, G_2, \dots, G_n)$ écrit en gras indique l'opération – physiquement réalisée – de l'unique microétat $me_{G(G_1, G_2, \dots, G_n)}$ effectivement généré, cependant que les indices $G_n, n = 1, 2, \dots$, du deuxième membre, écrits en caractères pâles, caractérisent les ket qui représentent les microétats virtuels $me_{G_1}, me_{G_2}, \dots, me_{G_n}$, qui n'ont pas été effectivement générés isolément mais qui ne sont utilisés qu'en tant qu'éléments de référence.

Ces notations très simples dispensent désormais de tous les flots verbaux explicatifs qu'il a fallu déverser dans 6.3.2.1.

6.4. Incompatibilité individuelle de grandeurs selon IMQ , versus

le principe de Heisenberg et le 'principe de complémentarité' de Bohr dans MQ_{HD}

Dans ce point nous voulons expliciter l'organisation conceptuelle qui sous-tend, *en commun* : d'une part le concept IMQ d'incompatibilité individuelle de deux grandeurs

mécaniques, et d'autre part, le principe de Heisenberg, le principe de complémentarité de Bohr, et leurs reflets dans le formalisme mathématique de MQ_{HD} .

A cette fin nous continuerons de distinguer systématiquement entre le niveau individuel de description, et le niveau de description statistique. La capacité d'élucidation de cette distinction se confirmera ainsi elle aussi, en s'associant à celle de la spécification explicite des opérations de génération G qui interviennent.

6.4.1. *Caractérisations liées au niveau de conceptualisation individuel*

1. Plaçons-nos d'abord dans le cadre général de la physique.

Toute "interaction" entre deux entités physiques est conçue comme un processus qui change, ne serait-ce qu'à un degré minime, toutes les deux entités inter-agissantes, et cela seulement de certains points de vue (c'est-à-dire face à telles ou telles actions-et-qualifications). Ceci – qui est bien connu – constitue un principe physique tout à fait général.

Il en découle que toute interaction qui consiste en un acte de mesure opéré sur une entité-physique-objet-d'étude, à l'aide d'un 'appareil de mesure', change d'une part l'appareil (de certains points de vue dont certains sont *délibérément* reliés à l'acte de mesure accompli et à son résultat particulier) et d'autre part l'entité-objet-d'étude (d'autres points de vue, dont certains sont souvent spécifiés).

2. Plaçons-nous maintenant dans le cadre général de la micro-physique.

* Si l'entité sur laquelle l'on opère l'acte de mesure considéré est un microétat, alors le changement de ce microétat à la suite de l'acte de mesure, est en général *non-négligeable* relativement aux buts de connaissance future que l'on peut avoir face à ce microétat.

* *Le principe d'incertitude de Heisenberg* pose qu'il n'est pas possible de 'mesurer à la fois la position et la quantité de mouvement' d'un seul exemplaire d'un microétat donné.

* *Le principe de complémentarité de Bohr* généralise le principe de Heisenberg à toute une catégorie de grandeurs 'mutuellement complémentaires' qui ne peuvent pas être mesurées simultanément, ce fait étant d'autre part regardé comme une particularisation d'un principe de complémentarité encore plus général, valide aussi à l'extérieur du domaine de la microphysique.

2a. Plaçons-nous maintenant dans le cadre de IMQ .

Soit un microétat physique et individuel me_G . Soient A et B deux grandeurs mécaniques redéfinies pour des microétats, et soient $Mes(A)$ et $Mes(B)$ les actes de mesure correspondants. Dans IMQ l'on a posé (je reproduis, avec les notations utilisés là) :

« Lorsqu'il n'est pas possible de trouver une représentation conceptuelle-formelle des microétats et un appareil correspondant, qui permettent de définir et d'identifier expérimentalement – à la fois, par une et même évolution de mesure $Mes(X, Y)$ – une valeur X_j de la grandeur X et une valeur Y_k de la grandeur Y , pour un *seul* exemplaire du microétat me_G étudié, alors nous dirons que ' X et Y sont mutuellement incompatibles, face à :

- un exemplaire individuel du microétat me_G ;
- la représentation conceptuelle-formelle des microétats qui est employée, avec les appareils qui lui correspondent, i.e. face aux processus de mesure envisagés' ».

Ceci peut être regardé comme un principe épistémologique-physique ‘d’exclusion mutuelle d’espace-temps’ de certaines paires de mesures, et en certaines conditions bien délimitées. Dans *IMQ* ce principe se trouve notamment à la base du concept de ‘non-compatibilité mutuelle individuelle’ de certaines paires de deux grandeurs *mécaniques*, A et B , redéfinies pour des microétats. Mais ce principe ne vaut qu’à l’intérieur d’un arbre de probabilité d’un microétat d’un *seul* microsystème (2.6.2.1), et sa validité, on l’a mis en évidence, est restreinte par deux relativités spécifiantes.

Donc selon *IMQ* le ‘principe d’incertitude de Heisenberg’ qui affirme l’impossibilité *absolue* de mesurer à la fois la position et la quantité de mouvement d’un microétat donné, n’est en fait qu’un cas particulier à l’intérieur d’une catégorie qui est globalement restreinte par des conditions particularisantes (arbre de probabilité d’un microétat d’un seul microsystème) et des relativités (à la représentation des grandeurs considérées, aux définitions des interactions de mesure considérées)¹³⁹¹⁴⁰.

A l’aube d’une ère de nanotechnologie, cette remarque est libératrice.

6.4.2. Caractérisations liées au niveau de conceptualisation statistique-probabiliste

1. Remarque générale

Considérons de nouveau deux actes de mesure $Mes(A)$ et $Mes(B)$ qui, sur le niveau *individuel*, sont incompatibles au sens de *IMQ*.

Sur le niveau de conceptualisation statistique il n’y a plus aucune raison pour laquelle ces deux actes de mesures ne soient pas réalisables ‘simultanément’. Par exemple, si l’on veut établir les statistiques des résultats de $Mes(A)$ et $Mes(B)$ pour 1000 résultats – pas plus, par décision préalable – on peut alterner systématiquement une succession $[G.Mes(A)]_n$ et une succession $[G.Mes(B)]_n$, avec $n = 1, 2, \dots, 1000$, et inscrire les résultats, respectivement, sur un tableau des valeurs a_j obtenues pour et un autre tableau des valeurs obtenues pour Y_k obtenues pour Y , au fur et à mesure que ces valeurs se manifestent. De cette façon au bout de 2000 essais l’on aura fini d’établir les deux statistiques ‘à la fois’, dans les limites posées à l’avance.

Mais évidemment, tous les actes de mesure considérés doivent appartenir à un et même arbre de probabilité $T(G, V_M)$ de *IMQ* : dans ce cas aussi c’est l’opération de génération G physique et individuelle mise en jeu, qui fonde et définit les classes de phénomènes comparables.

Notons donc que dans notre contexte :

La possibilité de la ‘simultanéité’ des mesures considérées est relative au niveau de description sur lequel on se place¹⁴¹.

¹³⁹Notons que dans *IMQ* on n’a pas formulé un ‘principe’ physique d’incompatibilité mutuelle individuelle. La raison en est que ce fait particulier, considéré isolément, y apparaît tout de suite et clairement comme dépourvu d’une généralité, d’une profondeur, et d’un degré d’indépendance suffisants.

¹⁴⁰Quant au principe de complémentarité de Bohr, il n’affirme pas clairement qu’il s’agit exclusivement d’une impossibilité *individuelle*, i.e. concernant une paire donnée d’exemplaires individuels du microétat considéré. Il est trop vague pour être utile véritablement.

¹⁴¹L’on voit que, en dehors des relativités fondamentales qui se sont manifestées lors de la construction de *IMQ*, apparaissent maintenant des relativités nouvelles plus ponctuelles.

Il apparaît progressivement à quel point il convient de désabsolutiser radicalement le langage utilisé, si l'on veut introduire une pensée précise.

2. Plaçons-nous maintenant dans le cadre de MQ_{HD} .

MQ_{HD} nous met en présence d'une formalisation *mathématique* de ce qui – aux débuts de la théorie – a été exprimé verbalement par le ‘principe de Heisenberg’, puis a été incorporé au ‘principe de complémentarité de Bohr’¹⁴². En effet dans MQ_{HD} est démontré un *théorème* bien connu – que, de manière précisée, l'on peut dénommer ‘théorème de complémentarité des *dispersions statistiques* des *prévisions* concernant les résultats de mesures des observables non-commutantes \mathbf{A} et \mathbf{B} , opérées sur un microétat donné’. Ce théorème établit que pour toute paire d'observable \mathbf{A} et \mathbf{B} qui ne commutent pas, l'on a, sur le niveau de conceptualisation statistique, la relation :

$$\langle(\Delta A)^2\rangle\langle(\Delta B)^2\rangle_G \geq |\langle(i/2)(AB - BA)\rangle_G|^2 = \text{const}(h)$$

où pour $t > t_0$ le minimum du deuxième membre est borné par une constante dont la valeur est fonction de la constante h de Plank.

Notons qu'il est sous-entendu que les actes de mesures dont les résultats construisent les dispersions considérées, mettent tous en jeu un et même microétat physique et individuel – au sens de la décision méthodologique DM de 2.2.3 – donc une et même opération de génération physique et individuelle G : c'est la raison de l'indexation par ‘ G ’ dans l'écriture mathématique que nous avons utilisée. Et notons également qu'il ne s'agit nullement, dans ce théorème, de ‘mesures simultanées’, mais des dispersions des *prévisions* statistiques concernant un microétat donné, i.e. qui impliquent une seule et même opération de génération G dans toutes les successions de mesure $[G.Mes(\mathbf{A})]$ et $[G.Mes(\mathbf{B})]$ qui ont dû être accomplies afin d'obtenir les deux statistiques de résultats qui ont manifesté les dispersions considérées : une fois de plus, ‘ G ’ précise de quoi il s'agit.

3. Plaçons-nous maintenant dans le cadre de IMQ

Dans IMQ l'équivalent non-mathématique de l'expression mathématique du théorème de complémentarité des dispersions statistiques des prévisions qui concernent un microétat donné, se place dans l'ensemble dénoté $Mlp(me_G)$ des relations méta-probabilistes entre les espaces de probabilité Kolmogorov qui, sur le premier niveau statistique de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$, coiffent les branches de l'arbre : IMQ , comme en chaque cas, précise ici aussi avec exactitude le niveau de conceptualisation qui est en jeu.

6.4.3. En clôture de 6.4

L'examen qui précède illustre une fois de plus que, lorsqu'on tient compte de manière explicite et systématique (*a*) du niveau de conceptualisation, individuel ou statistique, et (*b*) de l'opération de génération G physique et individuelle présupposée, une situation conceptuelle qui au départ semblait floue, s'organise. Et elle s'organise par la mise en évidence de

¹⁴²http://fr.wikipedia.org/wiki/Principe_de_complémentarité : Le principe de complémentarité fut introduit à Copenhague par Niels Bohr suite au principe d'indétermination de Werner Heisenberg comme approche philosophique aux phénomènes apparemment contradictoires de la mécanique quantique, par exemple : celui de la dualité onde-corpuscule. Dans sa forme la plus simpliste il stipule qu'un ‘objet quantique’ ne peut se présenter que sous un seul de ces deux aspects à la fois. Bohr a montré que le principe selon lequel certains aspects différents d'un système ne peuvent être perçus simultanément, valide dans d'autres disciplines intellectuelles, s'appliquerait désormais dans le domaine de la physique, alors qu'il était absent de la physique classique. On voit qu'on ne lésinait pas sur les principes absolus.

relativités descriptionnelles qui avant restaient toutes cachées, mais qui, explicitées, suppriment chacune une classe bien définie de flous.

6.5. Les cas d'‘information insuffisante’ pour spécifier le ket d'état d'un microétat libre

En fait il s'agit de *d'incompréhension* suffisante, à la fois conceptuelle et formelle. Avant de s'attaquer dans 6.6 au problème des mesures quantiques, il paraît très utile sinon nécessaire d'essayer de mettre au moins un peu plus d'ordre dans les façons de dire revues ci-dessous, en relation avec leur substrat conceptuel.

6.5.1. Examen de quelques cas

Groupons au centre du champ d'attention les trois éléments suivants tirés tels quels du bref rappel du formalisme de MQ_{HD} offert dans le chapitre 4 :

1. Produits tensoriels de sous-espaces de représentation d'état (4.1). Lorsque le problème considéré implique, soit plus d'un seul ‘système’, soit une observable qui comporte plusieurs espaces de représentation, le sous-espace global de représentation mis en œuvre pour ce problème est représenté par un produit tensoriel des différents sous-espaces de représentation qui interviennent. Et dans l'espace de représentation global, le formalisme assigne un seul ket d'état au microsystème étudié, qu'il s'agisse de l'une ou de l'autre des situations mentionnées.

2. Le ‘postulat’ de représentation d'un microétat (4.5.1)¹⁴³. Un microétat peut ‘souvent’ être représenté par un ket d'état $|\psi\rangle$. En un tel cas on dit qu'il s'agit d'un *état pur*.

En certains cas toutefois on dit qu'« on ne dispose pas des informations nécessaires pour assigner au ‘système’ étudié un ket d'état, et par conséquent on est contraint de considérer un *mélange d'états purs* ». . . Néanmoins, dit-on, « dans *tous* les cas il est possible d'associer au microsystème étudié un opérateur (ou matrice) densité qui permet des prévisions aussi précises que possible dans les circonstances considérées ».

3. Non-séparabilité (4.4). Il a été mentionné qu'en certains cas le formalisme quantique ne définit pas le ket d'état dont on aurait envie de pouvoir bénéficier (les formulations courantes impliquées dans de tels cas . . . (utilisent les concepts de) produit tensoriel d'espaces, et matrice densité.

Les propositions rappelées ci-dessus concernent presque toujours des microétats *libres*. Nous avons déjà noté que les traits mentionnés, plus ou moins explicitement, sont regardés quasi unanimement comme des caractères notables et *inexpliqués* de MQ_{HD} . Ceci – reconsidérant ces trois extraits de 4 à la lumière des développements déjà accomplis dans ce chapitre 6 – conduit à ajouter ce qui suit.

Concernant 1 : Dans le langage MQ_{HD} courant l'on ne distingue pas systématiquement entre :

- (micro)système (une entière classe de micro-objets – des électrons, ou des neutrons, ou des protons – caractérisée globalement par des caractères communs et stables (masse,

¹⁴³Il s'agit en fait d'un *choix* de représentation, nullement d'un ‘postulat’.

charge, spin), et d'autre part,

- (micro)état (une structure descriptionnelle dynamique variable assignée à un micro-système), comme dans *IMQ* nous avons été conduits à le faire via les définitions de 2.4.2).

En conséquence de cela l'on ne distingue pas non plus entre l'usage de produits tensoriels d'espaces de représentation qui est lié à une opération de génération G_n d'un microétat de n micro-systèmes, $n \geq 2$ (2.6.2.1), et l'usage d'espaces tensoriels lié à une observable qui représente une grandeur dynamique vectorielle, donc à trois composantes, comme l'observable \mathbf{P} de quantité de mouvement ou l'observable \mathbf{R} de position. Or ceci conduit à des confusions entre les deux rôles descriptionnels fondamentaux – foncièrement distincts – d'opération de génération G de l'entité-objet-de-qualification (le premier cas mentionné, et d'opération de qualification d'un microétat par examen via une vue qualifiante V (le deuxième cas, car les observables jouent le rôle de vues qualifiantes). Ceci engendre une impression d'arbitraire du point de vue logique-épistémologique. Et cette impression équivaut à un nœud d'intelligibilité qui peut résister indéfiniment si l'on ne dispose pas d'une méthode générale de conceptualisation qui puisse guider afin d'identifier l'endroit où se cache la source de l'inintelligibilité. Car :

L'intelligibilité n'existe pas naturellement, elle se construit sur la base de procédures épistémo-méthodologiques.

Il s'agit là d'une lacune grave dans la structure MQ_{HD} , qu'il faut combler. A cette fin il est nécessaire de :

- Introduire les définitions de 2.4.2.
- Introduire une *représentation explicite* – pas nécessairement mathématique – de (a) l'opération de génération G de toute entité-objet-de-qualification qui est mise en jeu, ainsi que (b) de la vue qualifiante V que l'on fait agir.
- Spécifier explicitement lors de toute mathématisation, dans quel *rôle descriptionnel* – opération G de génération de l'entité-objet-d'étude, ou d'entité-objet d'étude, ou de grille de qualification – agit tel ou tel élément représentationnel utilisé.

Concernant 2 : On parle de 'certains cas' où l'on ne « dispose pas d'informations suffisantes » pour définir 'le' ket d'état. Comme si ce ket d'état *préexistait* nécessairement en soi, mais nous n'arrivons pas à savoir comment il 'est', lequel c'est (!!),¹⁴⁴ et que donc pour *cette* raison l'on doit considérer un 'mélange de cas purs' choisis dans un ensemble de cas purs que, semble-t-il, serait conçu comme *donné, préexistant, connu*. (Comme, par exemple, l'on saurait que dans une boîte il y a une bille rouge, trois billes jaunes, deux noires et cinq vertes, et l'on aurait à juste choisir parmi elles afin d'en faire cadeau à un petit garçon). Or ces implications d'une extraordinaire naïveté 'réaliste' instillée par le langage courant, et qui souvent sous-tendent l'utilisation de MQ_{HD} , font illusion. Très grande illusion. Elles font écran à la pleine perception des caractères *foncièrement constructifs* et *méthodologiques* des descriptions de microétats, tout autant d'un point de vue physique-opérationnel, que du point de vue mathématique représentationnel.

¹⁴⁴Le concept d'information a bon dos lorsqu'on l'allie à un réalisme naïf, qui cache ce fait fondamental que tout savoir *se construit*, et qu'on peut très facilement le construire implicitement d'une manière déficiente qui entraîne des problèmes résistants (cf. MMS [2006]). En général, quand dans une théorie on ne peut pas disposer de telle ou telle information, c'est qu'on ne l'a pas construite et a fortiori on n'a pas aménagé la place formelle pour pouvoir l'exprimer et l'introduire.

Elles font écran aussi au fait que les différents ket d'états purs $|\Psi_{G_j}\rangle$, $j = 1, 2, \dots, n$ qui a priori peuvent être conçus dans un 'mélange' de la forme

$$\mathcal{M} = p_1 |\Psi_{G_1}\rangle + p_2 |\Psi_{G_2}\rangle + \dots + p_j |\Psi_{G_j}\rangle + \dots + p_n |\Psi_{G_n}\rangle$$

(\mathcal{M} : mélange) contiennent des fonctions d'onde mathématiques dont il faut connaître les formes fonctionnelles afin que le mélange soit utile, et que ces formes fonctionnelles constituent une infinité plus riche que tous les points de l'espace, cependant que – en général – chaque tel ket d'état pur est à *identifier* par solution d'une équation d'évolution correspondante, si celle-ci peut être écrite et résolue, et que alors, en plus, l'on doit donner le ket initial qui décrit la situation de départ. Etc., etc. ¹⁴⁵

Ainsi, lorsqu'on contemple tout ce qu'il faut *faire* afin d'arriver à connaître un ket d'état $|\Psi_{G_j}\rangle$, $j = 1, 2, \dots, n$ qui intervient dans un 'mélange', il s'impose la question suivante : Suppose-t-on clairement que tout cela a été effectivement fait pour chacun des ket d'état qui interviennent dans le mélange considéré, et que l'unique sorte d'information manquante consiste à ignorer – lors d'un enregistrement *donné* de quelque résultat de mesure – *quel* est le ket d'état qui a été impliqué dans *cet* enregistrement particulier ? Mais alors, *comment a-t-on effectué l'enregistrement en question ?* Via une succession de mesure de la forme générale $[G.Mes(\mathbf{A})]$ où, à la place de G , on a produit à la fois toutes les opérations de génération G_j liées aux différents états purs, ou bien autrement ?

Bref : Quoi, exactement, est-on supposé connaître déjà, et, de manière complémentaire, en quoi, exactement, consiste « l'absence d'information suffisante » ? Et comment – en *général* – est-il supposé que l'on arrive à effectivement *connaître* la matrice densité d'un mélange statistique donné, dans une base donnée ? Car lorsqu'on examine les manières courantes de dire et qu'on les réfère attentivement aux situations factuelles, on se rend compte que les présuppositions impliquées par le concept d'opérateur statistique semblent être non-conciliables avec le degré – réduit – de généralité de la possibilité effective d'acquérir les connaissances nécessaires pour l'utilisation d'un tel opérateur (Svozil [2012] semble avoir lui aussi une attitude critique à cet égard).

Ce concept semble être vicié par la tendance générale que l'on perçoit lorsqu'on examine MQ_{HD} de près, vers une réification d'écritures mathématiques qui décollent du factuel physique, comme un ballon dont on a coupé le cordon d'attache, et en conséquence de cela se dégradent subrepticement en simple notation *verbale* à l'aide (illicite) des symboles mathématiques de MQ_{HD} .

Il se pourrait même qu'une analyse attentive révèle que le concept de mélange statistique ne concerne d'une manière pertinente *que* – exclusivement – des microétats liés dans une microstructure, et en outre, dans ce cas particulier, ne s'applique qu'aux déterminations expérimentales de statistiques de valeurs de l'observable \mathbf{H} d'énergie totale. En effet dans ces cas très particuliers l'opération de génération G du microétat étudié est consommée à l'avance et son effet perdure plus ou moins stablement en tant que l'un ou l'autre parmi les états *propres* possibles de l'observable d'énergie totale \mathbf{H} , dont la représentation mathématique, dans ce cas, se *confond* avec la représentation mathématique de l'état du microétat étudié, tout court. Donc dans ce cas :

Ce qu'il faut en fait se donner en tant qu'opération de génération qui intervient dans une succession de mesure, est une *méta*-opération de génération $G^{(2)} \neq G$ d'une *autre* entité à qualifier, différente du microétat à qualifier, à savoir, la micro-entité qui,

¹⁴⁵Ces questions difficiles seront examinées une à une plus loin.

lors de l'interaction de mesure produite, consiste dans tel ou tel micro-(système-*d'accueil*) (par exemple un atome d'hydrogène) du microétat à étudier (par exemple l'état de l'électron de cet atome) lui-même, un micro-(système-*d'accueil*) sélectionné au hasard par l'interaction-test déclenchée, de l'intérieur de tout un *réservoir* de tels micro-(systèmes-*d'accueil*) que l'on se donne (par exemple, tout un volume d'atomes d'hydrogène, contenu dans un vase).

Mais alors il s'agirait en fait d'une *méta*-description au sens de $IMQ - D^{(2)}/G(2), me_G^{(2)}, V^{(2)}/ -$ accomplie via une *méta*-interaction-test *indirecte*, avec le micro-système-*d'accueil* sélectionné au hasard par l'acte-teste déclenché (par exemple un envoi de photons issu d'une source de photons et dirigé sur l'entier réservoir de tous le micro-systèmes d'accueil que l'on considère). Un tel méta-test peut fournir un renseignement indirect et catégoriel – pas individuel – en termes *directement* statistiques (cette sorte de situation sera reconsidérée plus loin).

Si effectivement il s'agit d'un tel déplacement subreptice sur un niveau de mesures *directement* statistiques, collectives, qui est distinct du niveau où se placent les actes individuels de $Mes(A)$ qui ne constituent que progressivement une statistique représentée par le ket d'état $|\Psi_G\rangle$ du microétat-à-qualifier lui-même, alors ce déplacement du niveau descriptif des actions de mesure *extraît* ces actions de la zone d'application du formalisme mathématique de la mécanique quantique fondamentale, en *ce* sens précis que le recours à [une équation Schrödinger d'évolution *du microétat-à-qualifier*, à la solution générale de cette équation, et au ket d'état initial *du microétat-à-qualifier* qui est mis en jeu], cessent en effet d'être nécessaires. Car la représentation de mesures-*test-collectives* ne concerne plus directement un microétat au sens de IMQ et de MQ_{HD} , elle ne concerne directement qu'une entité-à-décrire placée dans une zone de passage du domaine d'application de MQ_{HD} vers le domaine d'application de la microphysique atomique classique.

Mais s'il en est ainsi vraiment, alors il faut explicitement noter deux points :

(a). Un tel passage présuppose concernant le microétat étudié me_G lui-même (dans l'exemple considéré, un électron lié dans un atome d'hydrogène), un degré de stabilité qui *pour un microétat libre ne se réalise pas*. Donc :

La procédure indiquée est spécifique de la seule catégorie des microétats liés.

(b). Il devient nécessaire d'exiger, par méthode, que soient spécifiées explicitement :

(b1) La *méta*-opération de génération $G^{(2)}$ utilisée dans l'acte-de mesure-test-collectif. Cette *méta*-opération de génération $G^{(2)}$ *sélectionne* – elle ne crée pas, elle *sélectionne au hasard* de l'intérieur d'un réservoir clos de méta-micro-systèmes-*d'accueil* (dans notre exemple, des atomes d'hydrogène) – tout un ensemble

$$\{me_G\} \equiv \alpha(G(2))$$

de méta-micro-systèmes-*d'accueil* $\{me_G\}$ qui constitue une nouvelle entité-à-qualifier, ($\alpha(G(2))$) (lire : la *méta*-(entité-objet-de-qualification), (α : object-entity)) qui est suffisamment nombreux pour que, à l'issue d'un seul acte de mesure-test-collectif, l'on connaisse directement, avec une approximation déjà acceptable, l'entière statistique des valeurs propres E_j de l'observable H d'énergie totale du microétat me_G que l'on veut étudier (ici un électron d'un atome d'hydrogène) que l'on calcule en utilisant le ket d'état $|\Psi_G\rangle$ de me_G lui-même.

(b2) La procédure de mesure-test-collectif utilisée qui est indiquée a priori par la notation générale générale $V^{(2)}$ d'une méta-vue-test (par exemple, observation de l'intensité de lignes spectrales d'émission ou d'absorption, etc.).

Autrement dit, la méta-description $D^{(2)}/G(2), me_G^{(2)}, V^{(2)}/$ qui définit la procédure de mesure-test-collectif utilisée, doit être clairement spécifiée.

Le respect du point (b) dissiperait beaucoup de confusions.

Concernant 3 : Là il s'agit clairement du cas désigné dans *IMQ* comme 'un micro-état de n micro-systèmes' (2.4.2).

En considérant MQ_{HD} du point de vue de *IMQ*, ce point 3 confirme et souligne fortement la nécessité déjà notée, d'introduire les définitions de 2.4.2, ainsi que, en général et explicitement, la définition de l'opération G de génération du microétat me_G physique et individuel à étudier.

Quant au problème mentionné dans 4.6.1 qui concerne les dimensions de l'espace de représentation d'une évolution Schrödinger d'un ket d'état, il sera considéré brièvement dans 7.

6.5.2. Conclusion globale sur 6.5

Les cas indiqués comme « cas à information qui manque » sont manifestement des cas de compréhension faible et confuse de la situation factuelle et conceptuelle à laquelle on se trouve confronté. En outre, l'« information » qui intervient est loin de consister toujours et exclusivement en éléments formels qui se trouveraient tous 'là' sans qu'on sache lequel parmi eux agit. Elle implique des *actions de construction* des éléments formels qui sont nécessaires – à accomplir par le concepteur-observateur – d'actions aussi bien abstraites que *factuelles* qui puissent mettre en possession des représentations et des connaissances spécifiquement liées à l'enquête poursuivie. Cependant que l'entité-objet-de-l'enquête, elle, n'est ni élément de représentation, ni connaissance, elle est d'une *autre* nature, un fragment de réel, à la limite purement physique, que l'on veut étudier : la répartition *délibérée* et cas par cas, par méthode, des *rôles* descriptionnels, est d'une importance fondamentale si l'on veut éviter toute confusion. Et en tout cas :

Il est foncièrement inadéquat de parler en termes d'« information » pour indiquer une absence de connaissance d'un ket d'état¹⁴⁶.

Tout, dans MQ_{HD} , se passe comme si le formalisme mathématique tout simplement ignorait le fait fondamental que les représentations mathématiques d'un microétat donné me_G doivent être *construites sur mesure* pour me_G spécifiquement, avant de pouvoir utiliser ces représentations afin de prévoir quelque chose concernant me_G . Quant aux questions, difficultés, nécessité de spécifier les solutions d'une équation, un ket d'état initial, etc., que ce fait entraîne, tout cela semble être laissé aux bons soins du physicien qui agit. Cela suggère que l'on considère a priori que toutes ces questions, etc., sont triviales. Ce qui revient à considérer, en somme, *qu'elles auraient le même statut que dans le cas de l'étude*

¹⁴⁶Si l'on ne peut pas voir une pièce de théâtre qui n'a pas encore été écrite, on ne manque pas d'information, on manque de l'action préalable qui doit être accomplie afin qu'il soit possible d'acquérir cette information là.

d'un mobile classique que l'on peut percevoir directement.

La mécanique quantique, dont le formalisme a incorporé le concept *révolutionnaire* de 'description transférée primordiale', est néanmoins restée classique dans sa manière de penser !!! Elle n'a pas explicité ce concept révolutionnaire, et, corrélativement, lorsqu'on applique cette théorie, l'on raisonne comme si les entités-à-qualifier préexistait comme des 'objets' au sens classique et comme si les grilles de qualification étaient elle aussi constamment là, dans un univers platonicien environnant, exactement comme les prédicats des grammaires des langues occidentales courantes, et de la logique classique.

Cela est sans doute lié précisément au fait que dans la phase initiale de la mécanique quantique toutes les attentions se concentraient presque exclusivement sur les états d'électrons liés dans des microstructures atomiques ou moléculaires. Car une telle microstructure, considérée globalement, se comporte encore en effet d'une manière quasi-classique.

Mais maintenant le moment est venu pour psychanalyser le mode de penser que l'on associe à l'utilisation du formalisme quantique, et de le mettre en accord explicite avec toutes les implications du formalisme, sur l'entier domaine d'application qu'il revendique, celui de tous les microétats possibles, liés, ou pas.

6.6. Examen critique de la théorie des mesures quantiques

Ainsi, aux débuts de la mécanique quantique les microétats liés retenaient les attentions beaucoup plus que les microétats libres, progressifs. Pourtant dès l'origine, quelques cas frappants de microétats libres ont été également présents. Par exemple, le microétat d'électron libre de Louis de Broglie qui a conduit à la relation fondatrice $p = h/\lambda$, ou les microétats d'interférence d'Young qui ont mis en évidence frappante les effets de ce phénomène *spécifique* des microétats que l'on appelle 'champs quantiques'. Et bien que Schrödinger n'ait accompli ses prouesses magistrales que dans des traitements de cas fondamentaux d'états liés, les microétats libres qui avaient été notés d'emblée ont engendré leur propre lignée et celle-ci a nourri la croissance de la catégorie illimitée des microétats libres quelconques, auto-interférents, ou pas. Or actuellement les éléments de cette catégorie errent dans le formalisme de MQ_{HD} sans y trouver vraiment une place clairement distinguée de celle des microétats liés.

Mais IMQ , au contraire, est dédiée d'emblée, quasi spécifiquement, à la catégorie illimitée de microétats libres. Ceux-ci y disposent désormais d'une structure d'accueil formalisée ; qualitative mais formalisée, représentée et organisée avec rigueur et détail et de manière exhaustive, pour eux d'abord. En outre cette structure d'accueil a logé ensuite aussi les microétats liés, sans que pour ceux-ci elle se soit avérée trop étroite, ou non-spécifiante. Ainsi IMQ est apte à jouer le rôle pour lequel elle a été construite, celui de structure de référence, face à toutes les sortes possibles de microétats, sans aucune restriction. Nous allons donc pouvoir nous en servir afin d'affronter en toute généralité le problème central des mesures quantique.

Les contenus des points 6.2→6.5 nous ont suffisamment préparés à ce défi. Nous sommes désormais sensibilisés à fond à l'utilité, en cas de situation conceptuelle confuse, de rechercher où se trouve et en quoi consiste l'opération G de génération du microétat à étudier, et de distinguer explicitement entre niveau de conceptualisation individuel et des niveaux de conceptualisation statistique qui peuvent varier. Ces deux perceptions nouvellement installées comportent une capacité d'élucidation notable qui devrait permettre des

guidages sûrs pour démêler en toute généralité et à fond le problème des mesures quantiques.

6.6.1. *Refus de la théorie des mesures de von Neumann*

Le choix représentationnel de base que l'on accepte quasi-unanimement a été introduit par von Neumann. Von Neumann a considéré qu'une 'bonne' théorie quantique des mesures doit représenter en termes MQ_{HD} , non seulement le microétat étudié, mais également l'appareil de mesure utilisé et son interaction de mesure avec le microétat étudié. Cette nécessité, pensait-il, découlerait du fait que l'appareil est lui aussi constitué de microsystèmes et qu'il serait 'donc' obligatoire qu'il soit représenté et décrit lui aussi dans le même temps que le microétat étudié, à l'intérieur d'une et même description MQ_{HD} globale du processus d'interaction de mesure.

En conséquence de ce posé il a formulé une théorie du type qui vient d'être spécifié. Celle-ci – bien connue puisque c'est précisément ce qu'on appelle aujourd'hui (et depuis longtemps déjà) 'la théorie des mesures quantiques' – non seulement inclut les problèmes initiaux rappelés dans le chapitre 4, mais en outre elle a conduit à un problème plus 'moderne' qui est spécifique de la vue mentionnée ci-dessus, à savoir le problème de la 'décohérence' mutuelle entre le microétat et l'appareil, qui devrait se produire spontanément et en conformité avec les règles générales de représentation de la mécanique quantique. Ce problème supplémentaire a fait couler beaucoup d'encre sans avoir, à ce jour, trouvé une solution jugée unanimement comme définitive.

Je déclare d'emblée mon refus sans nuances de l'approche de von Neumann, pour les raisons suivantes.

Car je tiens que d'un point de vue épistémologique général la représentation des mesures quantiques selon von Neumann est à la fois radicalement arbitraire et radicalement inefficace. Cette assertion ne concerne pas quelque question de 'vérité'. Elle ne relève que d'un choix de méthode. Bertrand Russell a remarqué que les buts sont question de tempérament, cependant que le choix d'une méthode appropriée à un but donné, est question d'intelligence. Or dans le cas de la représentation des mesures quantiques selon von Neumann le choix de la méthode de représenter laisse pantois.

Si l'on transposait à l'étude des astres à l'aide de télescopes, par exemple, l'essence du choix de méthode de von Neumann, à quoi serait-on conduit ? Puisque les télescopes sont eux aussi matériels et leurs constituants ultimes sont les mêmes que ceux des étoiles, la représentation mathématique correcte d'une mesure de la position d'une étoile en utilisant un télescope devrait contenir les représentations

[(du télescope)+(de l'étoile)+(de l'interaction de mesure entre ces deux objets)]

Et afin d'être précis, il faudrait que la représentation soit faite dans les termes de la microphysique relativiste. Enfin, une fois l'interaction accomplie, il faudrait démontrer à l'intérieur du formalisme mathématique utilisé, que le processus d'interaction se clôt par une 'décohérence' spontanée parfaite en, d'une part l'appareil dans un état qui contient l'enregistrement de la position de l'étoile, et d'autre part l'étoile.

Or je tiens qu'une vue de ce type exprime une cécité totale face aux véritables critères épistémologiques et méthodologiques qui s'imposent. Car le processus d'élaboration de IMQ a mis en évidence à quel point ce qui décide du mode adéquat pour représenter telle

ou telle phase d'un processus de conceptualisation, est *la situation cognitive* dans laquelle l'observateur-concepteur se trouve relativement à l'entité-à-décrire, et les *rôles* descriptionnels assignés aux opérations qui interviennent. Ce n'est nullement la constitution matérielle des entités mises en jeu qui détermine l'adéquation des choix de représentation. En outre souvent 'l'appareil' existe à peine, si l'on peut dire' (penser aux marques dans une émulsion), ses limites et le degré nécessaire de détail de la spécification de ses constituants, etc. sont difficiles à définir (quels sont les critères ?), etc., etc. A fortiori, parler de l' 'aiguille' de l'appareil, comme on le fait souvent, paraît à la fois superfétatoire, et souvent artificiel et très ambigu. Pour ces raisons – qui ne sont pas de nature logique – je *pose* qu'il est adéquat de traiter les appareils utilisés pour des mesures quantiques comme appartenant à la grille de qualification que l'on se donne en tant que l'une des *données premières* de l'action de représentation. En effet l'observateur-concepteur ne se trouve *pas* dans la même situation cognitive face aux appareils de mesure, que face à l'entité-à-décrire microscopique. *L'appareil est dans le rôle descriptionnel d'une donnée*. Il se construit délibérément ; son mode d'action est soumis aux contraintes imposées par la situation cognitive et par le but de qualification ; et il suffit de l'indiquer verbalement et, éventuellement, le symboliser de manière non-mathématique. Vouloir mélanger dans la représentation mathématique du processus de mesure, l'entité-à-décrire et l'appareil utilisé, est une monumentale violation de l'une des plus évidentes conditions d'optimisation des processus humains de conceptualisation. Une violation de cette envergure, proprement caricaturale, ne peut provenir que d'une indistinction totale entre faits physiques, buts et méthode¹⁴⁷.

Bref, dans ce qui suit je choisis de revenir à la théorie originelle des mesures quantiques, selon laquelle seule l'entité-à-qualifier devait être reflétée de quelque façon par la représentation mathématique d'un acte de mesure¹⁴⁸. Néanmoins, pour exhaustivité, à la fin du sous-chapitre 6.4 j'ajouterai quelques mots sur le problème spécifique de 'décohérence' soulevé par la représentation des mesures quantiques selon von Neumann.

6.6.2. Retour à la théorie originelle des mesures quantiques

En conséquence du refus de la théorie des mesures de von Neumann nous revenons à la théorie originelle des mesures quantiques (4.6.1). Suivons cette théorie là. Sur le parcours nous introduirons au fur et à mesure, lorsque ce sera utile, de renotations qui explicitent les significations.

Au moment t_1 on veut faire une mesure de l'observable \mathbf{A} sur un exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat me_G représenté à t_1 par le ket d'état $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ où l'indice H rappelle le hamiltonien de l'équation Schrödinger correspondante. À partir du moment t_1 l'on pose qu'il convient d'utiliser un hamiltonien $H(\mathbf{A})$ qui commute avec \mathbf{A} et qui est indépendant du temps. Donc en général $H(\mathbf{A}) \neq H$, et en général ce n'est pas non plus le hamiltonien libre. Sous l'action de $H(\mathbf{A})$ le ket d'état $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ subit une '*évolution Schrödinger de mesure*'. Il s'agit d'une nouvelle phase de la procédure, qui concerne un nouveau ket d'état.

¹⁴⁷ Il est d'ailleurs sidérant qu'à ce jour personne ne semble s'être insurgé. Quand il s'agit d'édifices et d'opérations matériels il est très clair que si l'on voulait traiter la grue de la même façon que les murs à construire à l'aide de la grue, parce les deux sont matériels et constitués de particules élémentaires, il n'y aurait pas de murs. Mais quand il s'agit de qualifier des entités microscopiques, les évidences de cette sorte peuvent pâlir jusqu'au point de s'évanouir entièrement.

¹⁴⁸ Après toutes les complexités formelles intéressantes que nous offre la théorie de von Neumann des mesures quantiques – avec des matrices densités où certains éléments non-diagonaux refusent absolument de s'annuler complètement en un temps fini, etc. – la démarche qui suit pourrait produire une impression de simplisme frustrant. Mais il se pourrait aussi que tel ou tel physicien ressentisse un soulagement en voyant se dessiner du bon sens sur ce terrain formel appauvri.

Dénotons désormais ce nouveau ket d'état par

$$|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle \quad (3)$$

afin de le distinguer clairement du ket d'état $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ du microétat étudié me_G (qui, dans l'écriture ' $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ ', est d'ores et déjà connecté à la démarche présente, référée à *IMQ*, par l'insertion du symbole G qui envoie à relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$ correspondante). Désignons le descripteur $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ par la dénomination *le ket d'état de mesure lié au ket d'état étudié* $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$, en bref, *le ket d'état de mesure*.

Considérons la décomposition spectrale au moment t_1 du ket d'état étudié $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$, sur la base des ket propres $|u_j(x)\rangle$ de l'observable \mathbf{A} que l'on veut mesurer :

$$|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle = \sum_j c_j(a_j, t_1) |u(x, a_j)\rangle, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (4)$$

où $a_j, j = 1, 2, \dots, J$ sont les valeurs propres de \mathbf{A} que l'on prend en considération (cf. 6.1, le point 'Effectivité'). Dans *MQHD* un ket d'état de mesure est posé avoir une caractéristique spécifique : la décomposition spectrale sur la même base de \mathbf{A} , du ket d'état *de mesure* $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ lié à $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$, est posée ne pas changer les valeurs numériques des modules carrés $|c_j(t_1)|^2$ des coefficients d'expansion de (3) :

$$|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle = \sum_j c_j(a_j, t_1) |u(x, a_j)\rangle, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

Cela exprime que la distribution statistique-probabiliste des valeurs propres de \mathbf{A} au moment t_1 est posée rester inchangée au cours de la durée $t - t_1$ de l'évolution de mesure. Il faut donc expliciter quoi change au cours de l'évolution représentée par $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$.

Voilà l'essence irréductible de la représentation *MQHD* des processus de mesure.

6.6.3. Analyse critique de la représentation *MQHD* des processus de mesure sur des microétats

On ne s'étonne de rien en absence de toute référence. Dans ce qui suit nous exprimons des questions et des critiques qui se forment par référence à :

- *IMQ* en général, et notamment, le rôle qu'y joue l'opération G individuelle et physique de génération d'un exemplaire physique et individuel du microétat me_G que l'on veut étudier.

- La nécessité incontournable, pour construire des descriptions de microétats qui sont 'primordialement transférées' et sont requises être prévisionnelles et 'mécaniques', d'une règle de codage $Cod(G, A)$ qui traduise tout groupe de marques physiques observables produit par un acte de $Mes(\mathbf{A})$, en une valeur a_j de l'observable mécanique mesurée \mathbf{A} , et une seule.

- Le postulat $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ de modélisation d'un exemplaire du microétat me_G , puisque sans aucun tel modèle il n'est pas concevable d'introduire des qualifications quelconques, notamment 'mécaniques'.

Ce qui vient d'être énuméré constitue d'ores et déjà un référentiel riche pour formuler face à lui des questions et des réponses.

6.6.3.1. (Question-Réponse) numéro 1

Question Q1 : Pourquoi définit-on la représentation formelle d'un processus de mesure comme il a été rappelé dans 6.6.2 ?

Réponse à Q1. Dans *IMQ* nous avons mis en évidence avec détail la question fondamentale et difficile à maîtriser de la définition d'une règle de codage qui, à partir du groupe de marques brutes observables produit par un acte de mesure, permette de dire quelle valeur de la grandeur mesurée a été obtenue. Or il est très étonnant de réaliser que cette question tellement évidente et tellement centrale, semble n'avoir tout simplement jamais été soulevée et traitée dans *MQHD* en termes explicites et généraux¹⁴⁹.

Néanmoins, il est clair que la représentation *MQHD* des mesures quantiques qui vient d'être rappelée a été fortement marquée par une perception forte, sinon claire, du problème de codage. En effet dans les bribes d'une théorie des mesures quantiques que l'on peut glaner ici ou là dans les différents exposés didactiques ainsi que dans quelques travaux, l'on peut discerner la perception quasi obsessionnelle du problème et la volonté d'y faire face. Bohm [1951], de Broglie [1957], Gottfried [1966], et Park and Margenau [1968] (ainsi que d'autres auteurs sans doute) ont mis en évidence des traits d'évolutions de mesure du ket d'état de (5) qui sont clairement reliés au concept *IMQ* de codage-cadre d'espace-temps, *Cod.cadre(Et)* (2.3.2.2)¹⁵⁰. A savoir l'on admet que la traduction en termes d'une valeur propre a_j de \mathbf{A} , des marques observables enregistrées à la fin d'une évolution de mesure de \mathbf{A} , s'accomplit par 'localisation', en ce sens qu'on sait induire ou calculer a_j à partir des positions d'espace-temps des différentes 'marques' enregistrées (points d'impression dans un milieu sensible, des bips émis par un compteur d'étendue spatiale négligeable). Alors, afin de pouvoir signifier avec précision, chacune de ces positions d'espace-temps d'une marque enregistrée doit être clairement distinguable de toutes les autres¹⁵¹.

Examinons de plus près comment cette condition est assurée (afin de piéger l'essence du raisonnement il suffira de considérer seulement la position d'espace).

Dénotons par *BBGPM* les traits globaux de la démarche des auteurs énumérés. Revenons à la décomposition spectrale $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle = \sum_j c_j(a_j, t_1) |u(x, a_j, t_1)\rangle$, $j = 1, 2, \dots, J$ du 'ket d'état de mesure' lié au ket d'état étudié $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$. Dans l'espace Hilbert référé à la base $\{|u(x, a_j, t_1)\rangle\}$, $j = 1, 2, \dots, J$ introduite par \mathbf{A} , considérons un coefficient d'expansion $c_j(a_j, t_1)$ affecté d'un indice j donné. Le postulat prévisionnel de probabilité de Born présuppose que chaque exemplaire individuel $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G , qui contribue à la valeur numérique de ce coefficient-là, est qualifié au moment t_1 quand l'évolution de mesure commence, par la valeur a_j de \mathbf{A} . Dénotons par $me_{G,exi}(a_j, t_1)$ un tel exemplaire de me_G contributeur à la valeur de $c_j(a_j, t_1)$. D'autre part cet exemplaire $me_{G,exi}(a_j, t_1)$ – comme toute entité physique – est nécessairement conçu aussi comme étant placé à chaque moment quelque part dans l'espace physique. Cela porte l'attention

¹⁴⁹Les postulats quantiques de mesure (cf. dans 4.5.2, le 'postulat des valeurs observables' et le 'postulat de projection') déposent, *Deus ex machina*, les incontournables spécifications individuelles qui closent un acte de mesure, sur 'le plancher' de la formalisation *MQHD*, directement sous la forme de valeurs propres numériques a_j de l'observable \mathbf{A} mesurée, sans aucune analyse physique-conceptuelle qui 'explique' comment ces valeurs numériques peuvent émerger. Et en outre ces postulats arbitraires ne *suffisent* même pas pour prévoir. Car édicter que l'on obtient 'une' valeur numérique a_j ne dit pas aussi laquelle, elle ne dit pas selon quel critère on dit que c'est telle valeur propre que l'on a constatée et pas une autre. Ainsi dans *MQHD* la question – centrale – de la traduction des marques physiques observables produites par un acte de mesure, en termes d'une valeur de la grandeur mesurée et une seule, est tout simplement laissée sans aucune réponse explicite. En certains ouvrages didactiques par ailleurs excellents, le problème n'est même pas formulé.

¹⁵⁰La discussion la plus explicite et complète est celle de de Broglie [1957], et il en ressort clairement qu'il y parle dans des termes unanimement admis à l'époque. Par cela il s'agit d'un document explicatif.

¹⁵¹Penser à la méthode Stern-Gerlach pour mesurer le spin (Bohm [1952]) qui est radicale à cet égard, ou à la méthode 'time of flight' pour mesurer la quantité de mouvement (2.3.2.1).

aussi sur l'espace *physique* où sont représentées les probabilités de 'présence'. Donc deux espaces de représentation distincts interviennent, l'espace où l'on représente les valeurs a_j , et l'espace où l'on représente des 'présences' dans l'espace des exemplaires $me_{G,exi}$ du microétat étudié qui interviennent dans les actes de mesure individuels. Or la démarche *BBGPM* semble impliquer ce qui suit.

Le hamiltonien de mesure $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ est conçu comme représentant une énergie de mouvement conservatrice mais 'séparatrice', en ce sens que lors de l'évolution de mesure représentée par le ket d'état $|\Psi_{G,\mathbf{H}(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$, cette énergie de mouvement (a) conserve les valeurs a_j de \mathbf{A} comportées au moment t_1 par les exemplaires potentiels $me_{G,exi}$ de me_G qui sont impliqués, et (b) tout en agissant sur ces exemplaires d'une manière analogue à celle de laquelle un prisme agit sur un rayon de lumière monochromatique. A savoir, l'on conçoit que sous l'effet du champ qu'implique $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ tous les enregistrements de marques physiques observables produits par un exemplaire $me_{G,exi}(a_j)$ qui, au moment t_1 , est posé être qualifié par la valeur a_j de \mathbf{A} , se concentrent factuellement sur un domaine d'espace *physique*, $\Delta x_j[p(x(a_j, t > t_1)) \neq 0]$, où est non nulle exclusivement la probabilité $p(x(a_j, t > t_1))$ de présence physique d'un exemplaire $me_{G,exi}(a_j, t_1)$. C'est-à-dire, trace est gardée à $t > t_1$, par un lieu mobile de présence possible, de la valeur a_j réalisée pour $me_{G,exi}$ au moment t_1 ; et en outre ce processus de concentration spatiale est tel que le domaine $\Delta x_j[p(x(a_j, t > t_1)) \neq 0]$ peut être délimité aussi clairement qu'on veut face à tout autre domaine d'espace physique, $\Delta x_{j'}[p(x(a_{j'}, t > t_1)) \neq 0]$ où se concentrent tous les enregistrements de marques physiques observables produites par un exemplaire $me_{G,exi}(a_{j'}, t_1)$ qui à t_1 était qualifié par une valeur $a_{j'}$ avec $j' \neq j$.

Le mouvement correspondant à $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ est donc supposé installer une corrélation statistique observable entre :

- D'une part la location spatiale du support d'espace physique $\Delta x_j[p(x(a_j, t > t_1)) \neq 0]$ d'une probabilité non nulle de présence de, exclusivement des exemplaires $me_{G,exi}(a_j, t_1)$ de me_G sur lesquels – à $t > t_1$ – s'accomplissent des enregistrements physiques observables.
- D'autre part la valeur a_j de A considérée, uniquement.

L'observabilité de la corrélation mentionnée, étant posée être améliorable autant qu'on veut¹⁵².

Si tout cela était véritablement le cas, cela constituerait précisément une règle de codage $Cod(G, A)$ au sens de *IMQ*, en termes d'une valeur propre donnée a_j de A , qui, avec un degré de certitude aussi grand qu'on veut, serait fondée sur un simple enregistrement de présence sur un support d'espace physique $\Delta x_j[p(X_j(a_j) \neq 0)]$ correspondant. Donc afin de vérifier les prévisions tirées de l'expansion (4) $|\Psi_{G,\mathbf{H}}(t_1)\rangle = \sum_j c_j(a_j, t_1) |u(x, a_j)\rangle$, $j = 1, 2, \dots, J$, il suffirait de dénombrer pour chaque indice j , les groupes de marques physiques observables obtenus sur le support d'espace physique $\Delta x_j[p(X_j(a_j) \neq 0)]$, et comparer le nombre obtenu, avec les modules carrés $|c_j(a_j, t_1)|^2$ du coefficient du termes d'indice j de l'expansion $|\Psi_{G,\mathbf{H}}(t_1)\rangle = \sum_j c_j(a_j, t_1) |u(x, a_j)\rangle$, $j = 1, 2, \dots, J$, qui définit dans l'espace Hilbert de représentation la probabilité-Born prévisionnelle $p(a_j) = |c_j(a_j, t_1)|^2$ de 'constater' – à $t > t_1$ – qu'un exemplaire $me_{G,exi}$ a été qualifié au moment t_1 par la valeur

¹⁵²Park and Margenau [1968] ont affirmé avoir *démontré* cela pour le cas des mesures "time of flight" de l'observable de quantité de mouvement (sous la restriction, non expliquée, que le support d'espace physique impliqué soit connexe (?)). Pour le cas des mesures (Stern-Gerlach) d'un spin à deux valeurs propres possibles, cela a été montré plutôt que démontré par Bohm [1951]; et en tout cas c'est communément accepté comme un fait d'observation. Et Louis [de Broglie, 1957, pp. 88–93] l'a montré pour le cas de l'observable de quantité de mouvement, mais dans le cadre de sa *théorie de la double solution*, sans que la corrélation mentionnée soit comparée avec les implications du *théorème de guidage*, posé a priori comme *non-observable*.

propre a_j de \mathbf{A} .

Ceci répond à la question $Q1$: La représentation MQ_{HD} des processus de mesure est conçue sous l'empire du but non explicité d'assurer le codage en termes d'une valeur propre a_j , d'un acte donné de mesure de l'observable \mathbf{A} , via une localisation spatiale spécifique de a_j , de la simple présence de l'exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G qui est mis en jeu dans l'acte de mesure considéré.

6.6.3.2. (Question-Réponse) numéro 2

S'il était possible de véritablement prouver à l'intérieur de MQ_{HD} que la corrélation spécifiée dans 6.6.3.1 peut effectivement être réalisée toujours, alors quasi certainement cela aurait été déjà accompli. On peut donc douter de cette possibilité. La nouvelle question qui s'introduit ainsi est la suivante :

Question Q2 : *Quoi change dans la représentation (5) d'une évolution de mesure, et comment ? Pourquoi peut-on penser que la corrélation identifiée dans 6.6.3.1 peut être effectivement assurée ?*

Réponse à Q2. Tenons compte de : (a) la différenciation systématique pratiquée dans IMQ entre niveau de conceptualisation individuel et niveau de conceptualisation statistique, et (b) du modèle de microétat introduit par le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ de 6.2.3. Afin de construire la réponse recherchée il sera nécessaire d'utiliser à fond le modèle $me_{G,oc}$ d'un exemplaire du microétat étudié. Ce sera un exercice – difficile au départ – de débarrasser des réflexes d'auto-aveuglement installés par l'interdiction bohrienne d'utiliser des modèles.

Commençons par le cas le plus simple d'un microétat d'un seul microsystème et à opération de génération non-composée (il s'agira donc d'un microétat non-lié puisque les microétats liés sont tous des états d'interférence stationnaire, à opération de génération composée (2.9)). Selon le modèle $me_{G,oc}$, un exemplaire d'un microétat me_G d'un seul microsystème introduit une seule singularité à caractères corpusculaires de l'amplitude de l'onde comportée par me_G . Les champs physiques représentés par le hamiltonien classique $H(\mathbf{A})$ – ceux même, par construction, qui interviennent aussi dans l'opérateur hamiltonien $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ – n'agissent d'une manière qui est qualifiable en termes 'mécaniques' que sur la dynamique de cette unique singularité. Enfin, supposons aussi qu'aucun obstacle matériel n'intervient.

Notons au passage que les conditions énumérées excluent des 'champs quantiques'.

Le 'ket d'état de mesure $|\Psi_{G,\mathbf{H}(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ ' associé à $|\Psi_{G,\mathbf{H}}(t_1)\rangle$ est un descripteur statistique. Mais il est impératif d'admettre que lors des enregistrements finals auxquels il conduit, ce descripteur statistique comporte aussi la présence *actuelle* d'au moins un exemplaire *individuel et physique* $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G , car seulement un tel exemplaire peut produire des marques physiques observables. Toutefois le descripteur $|\Psi_{G,\mathbf{H}(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ ne distingue d'aucune manière une telle présence. Celle-ci est seulement impliquée par les deux postulats quantiques reliés, d'émergence d'une valeur propre a_j via un acte de mesure, et de projection de $|\Psi_{G,\mathbf{H}(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ sur le ket propre $|u_j(x)\rangle$ correspondant (4.5.3), qui ne concernent que la trace que l'on conserve dans les écritures formelles après les enregistrements finals. Or nous voulons ici discerner en quelles conditions qui

agissent dès avant les enregistrements de marques observables, l'évolution représentée par $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ peut installer la corrélation statistique identifiée dans 6.6.3.1. À cette fin utilisons un artifice de pensée. Considérons le cas particulier dans lequel la décomposition spectrale $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle = \sum_j c_j(t_1) |u_j(x)\rangle$, $j = 1, 2, \dots, J$ se réduirait à un seul terme d'indice j fixé. En ce cas l'exemplaire individuel, physique et actuel $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G qui doit nécessairement être incorporé, est comporté par ce terme unique. L'on a donc :

$$c_{j'}(t_1) = 0 \text{ pour } \forall j' \neq j, |c_j(t_1)| = 1, c_j(t_1) = 1e^{i\varphi(x)}, |\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle = e^{i\varphi(x)} |u_j(x)\rangle \quad (6)$$

où $\varphi(x)$ est une fonction de phase indépendante du temps et arbitraire, cependant que – conformément au modèle de microétat $me_{G,oc}$ – le ket propre $|u_j(x)\rangle$ représente la structure du phénomène ondulatoire comporté par l'exemplaire physique et actuel $me_{G,exi}$ qui est impliqué, au voisinage de la singularité à caractères corpusculaires de l'amplitude de ce phénomène.

Formellement ce cas particulier est bien inclus dans le formalisme de MQ_{HD} cependant que le modèle $me_{G,exi}$ explicite sa signification physique (cf. 6.2.2.1 et 6.2.3).

Par (6) nous venons de spécifier une interface de contact direct entre les représentations statistiques de MQ_{HD} , et le niveau de conceptualisation individuel¹⁵³.

Mettons maintenant sous loupe. Le descripteur particularisé $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle = e^{i\varphi(x)} |u_j(x)\rangle$, j fixé, n'est plus un ket d'état au sens courant de ce concept. Néanmoins il s'agit bien d'un ket de l'espace Hilbert de représentation introduit par l'observable quantique \mathbf{A} . Re-notons ce descripteur d'une manière plus suggestive par le symbole

$$|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}((\mathbf{1}me_{G,exi}), t > t_1)\rangle \equiv e^{i\varphi(x)} |u_j(x)\rangle \quad (6')$$

où $(\mathbf{1}me_{G,exi})$ pointe explicitement vers l'unique exemplaire actuel $me_{G,exi}$ qui y agit.

Comment lire le symbole $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}((\mathbf{1}me_{G,exi}), t > t_1)\rangle$? Étant donné le cas général à partir duquel nous avons particularisé il devrait pouvoir se lire : 'l'évolution Schrödinger de mesure du ket propre $e^{i\varphi(x)} |u_{j'}(x)\rangle$, produite par $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ '. Mais est-ce encore une 'évolution' ? Selon MQ_{HD} la valeur numérique du coefficient du ket propre $|u_j(x)\rangle$ reste constante, et en conséquence du fait que les observables \mathbf{A} et $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ sont posées commuter, $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ conserve la valeur moyenne de A au cours de la durée $t - t_1$ de l'évolution de mesure, cependant que cette moyenne s'identifie dans ce cas particulier à l'unique valeur propre a_j . Donc celle-ci aussi se conserve. Ainsi la variation du paramètre de temps t n'atteint en ce cas aucun élément du descripteur (6') : La capacité foncièrement 'dynamisante' dont l'observable quantique hamiltonienne $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ est dotée de par sa descendance de la grandeur classique d'énergie totale $H(A)$ – qui toujours englobe de l'énergie cinétique – reste dans ce cas non actualisée.

Mais si l'on fait maintenant intervenir le modèle de microétat $me_{G,oc}$, la représentation se prolonge par du mécanique classique individuel : Selon le modèle $me_{G,oc}$ le champ physique impliqué par le hamiltonien classique $H(A)$ – le même que celui comporté par l'observable quantique $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ – agit sur la singularité à caractères corpusculaires de l'amplitude du phénomène ondulatoire comporté par l'exemplaire $me_{G,exi}$ actuel qui est impliqué

¹⁵³Dans cette particularisation il n'y a pas de l'individuel postulé *Deus ex machina* sur la frontière du formalisme de MQ_{HD} , mais il y a une sorte de pseudopode qui émerge de l'intérieur de ce formalisme statistique et accroche de l'individuel de la mécanique classique.

dans 6'. Quel est l'effet de ce champ sur cette singularité ? En premier lieu, tenons compte du fait que – par hypothèse – le microétat me_G étudié ne comporte aucun champ quantique, seul le champ macroscopique représenté par $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ et $H(A)$ agit. En ces conditions la singularité dans l'amplitude de l'exemplaire $me_{G,exi}$ qui est en jeu, se comportera comme un minuscule mobile *classique*. Et en tant que tel que fera-t-elle ?

En toute rigueur on ne peut rien affirmer, car on se trouve dans un 'no man's land' conceptuel, sur un point de la frontière entre mécanique classique et mécanique quantique. Pourtant, sur la base de considérations de continuité, le raisonnement suivant semble s'imposer. Selon le modèle $me_{G,oc}$, à t_1 – par construction – se réalise pour la singularité de l'amplitude de l'onde de $me_{G,exi}$, la valeur propre a_j de l'observable quantique \mathbf{A} . Le champ comporté par le hamiltonien $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ agit seul et il conserve la valeur moyenne de \mathbf{A} , qui se confond avec a_j . Mais cependant que selon MQ_{HD} rien ne varie dans le descripteur $|\Psi_{G,H(\mathbf{A})}(\mathbf{1}me_{G,exi}, t > t_1)\rangle \equiv e^{i\varphi(x)} |u_j(x)\rangle$, selon le modèle $me_{G,oc}$ incorporé à la mécanique classique 'ondulatoire' de Louis de Broglie, la singularité de l'amplitude de $me_{G,exi}$ accomplira une *trajectoire*. Et cette trajectoire est telle que la valeur propre a_j , regardée maintenant comme une valeur donnée $a \equiv a_j$ de la grandeur mécanique classique A , reste désormais constante. En ce sens, la photographie instantanée offerte par le descripteur MQ_{HD} de (6') révèle un potentiel de mouvement *individuel* qui y restait caché.

Or selon la mécanique classique on peut bien concevoir que des effets dynamiques qui se réalisent sous l'action d'un champ représenté par un hamiltonien $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ qui assure l'invariance d'une valeur donnée a de la grandeur mécanique A , engendre une trajectoire de la singularité mobile de l'amplitude de l'exemplaire $me_{G,exi}$ qui est en jeu, qui, cependant que le paramètre de temps t est laissé s'accroître suffisamment au delà de t_1 , conduise cette singularité sur des endroits de l'espace physique que l'on peut rendre aussi éloignés que l'on veut de tout endroit d'espace que, dans les mêmes conditions, atteindrait toute autre singularité mobile d'un autre exemplaire individuel du microétat étudié, pour laquelle la valeur de la grandeur A aurait au départ une valeur différente de $a \equiv a_j$.

Les considérations qui précèdent ne sont que des conjectures. Mais il paraît vraisemblable qu'à l'avenir l'on puisse presque imposer ces conjectures déductivement¹⁵⁴.

Sur le niveau statistique maintenant, chaque support d'espace $\Delta x_j [p(x(a_j, t > t_1)) \neq 0]$ d'une probabilité de présence non-nulle $p(x(a_j)) \neq 0$ à $t > t_1$, de marques physiques observables signifiant une valeur propre a_j réalisée à t_1 pour un exemplaire individuel du microétat étudié, peut en effet être considéré comme 'délimité' face au supports d'espace de tout autre probabilité de présence $p(x(a_{j'})) \neq 0$ avec $j' \neq j$ non-nulle à $t > t_1$, de marques physiques observables signifiant à t_1 une valeur propre $a_{j'} \neq a_j$. Car :

- Le hamiltonien $H(A)$ doit être conçu comme engendrant, dans les circonstances posées, des trajectoires parallèles sur les singularités à aspects corpusculaires des différents exemplaires $me_{G,exi}$ mis en jeu successivement qui introduisent au départ une et même valeur a_j de \mathbf{A} .

- Si l'on veut respecter la condition générale d'effectivité exigée dans 6.1, la région d'espace physique qui – dans la pratique expérimentale – est prise en considération factuellement en tant que support d'espace initial de toutes les trajectoires de guidage, est nécessairement délimitée ; et la durée d'observation $t - t_1$ est nécessairement finie elle

¹⁵⁴Une preuve dans le cadre de la mécanique classique, des conjectures formulées, et une connexion explicite de cette preuve, avec MQ_{HD} – via le modèle $me_{G,oc}$ – pourrait constituer un lien explicitement élaboré entre la mécanique classique et la mécanique quantique, à associer aux considérations d'ordre de grandeur concernant la constante h de Plank (ce serait un très intéressant sujet pour un PhD de physique théorique). Mais ici nous voulons juste défrayer un cheminement vers une 'compréhension' de la corrélation *BBGPM*.

aussi.

En ces conditions, en réglant convenablement les différents paramètres, le support d'espace 'physique' $\Delta x_j [p(x(a_j, t > t_1)) \neq 0]$ où la probabilité de présence $p(x(a_j, t > t_1))$ est non-nulle peut être amené à s'éloigner autant qu'on veut de tout autre support d'espace 'physique' $\Delta x_{j'} [p(x(a_{j'}, t > t_1)) \neq 0]$, avec $j' \neq j$, de probabilité de présence $p(x(a_{j'}, t > t_1)) \neq 0$ d'un exemplaire $me_{G,exi}$ que l'observable quantique \mathbf{A} qualifie à t_1 via une autre valeur propre $a_{j'} \neq a_j$. Ce qui entraîne que, en principe tout au moins, l'observabilité de la corrélation statistique recherchée peut être améliorée autant qu'on veut.

Donc :

La corrélation *PMBGB* semble pouvoir en effet être réalisée pour les microétats à opération de génération non-composée et en absence de tout obstacle macroscopique, i.e. en l'absence champs quantiques.

Cette conclusion est généralisable au cas d'un microétat de plusieurs microsystèmes (2.4.2) à opération de génération non-composée.

Ceci constitue la réponse à la question *Q2* : Ce qui change au cours d'un acte de mesure échappe au formalisme de *MQ_{HD}* mais néanmoins peut être conçu à l'aide du modèle de microétat $me_{G,oc}$ et la mécanique classique. Et les changements révélés par cette voie extérieure au formalisme de *MQ_{HD}* : (a) permettent en effet d'affirmer la corrélation *PMBGB*, mais (b) *seulement pour des microétats sans champs quantiques*.

Notons la manière dont le postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ de 6.2.3 peut orienter l'investigation.

6.6.3.3. Conséquence de la réponse à la question *Q2* : Un premier postulat de codage

La dynamique de questions-réponse que nous avons amorcée n'est pas arrivée à son terme, la réponse à la question *Q2* entraîne immédiatement d'autres questions. Mais avant de continuer cette dynamique et la clore, arrêtons-nous un instant sur une conséquence immédiate à la question *Q2* dont l'importance est fondamentale.

Les conjectures 6.6.3.2 nous semblent s'imposer suffisamment pour que dès maintenant l'on introduise sur leur base le premier postulat de codage suivant, dénoté $\mathcal{P}[\text{Cod}(\text{PMBGB})]$ et dénommé *postulat de codage par localisation* :

$\mathcal{P}[\text{Cod}(\text{PMBGB})]$. Dans le cas d'un microétat à opération de génération non-composée et qui évolue dans l'absence de tout champ quantique, la corrélation *PMBGB* peut être réalisée factuellement et elle constitue un codage $\text{Cod}(G,A)$ au sens de *IMQ* (2.3.2.3).

Pour l'entière catégorie des microétats libres de tout champ quantique, ce postulat met en disponibilité les deux postulats de mesure de *MQ_{HD}*, d'émergence d'une valeur propre lors d'un acte de mesure, et de projection du ket d'état. Ce le postulat $\mathcal{P}_l[\text{Cod}(\text{PMBGB})]$ est beaucoup plus immédiatement compréhensible que les deux postulats cités, et en outre il est ouvert à d'éventuelles preuves déductives futures et à des vérifications expérimentales, ce qui n'est pas le cas pour les postulats de *MQ_{HD}*. Il s'agit donc d'une avancée.

Ce qui a permis cette avancée a été l'identification formelle conformément à MQ_{HD} , de la moyenne statistique des valeurs propres d'une observable A , que $H(A)$ conserve, avec – tour à tour – une seule telle valeur propre individuelle. Et c'est l'usage imaginé, à la place de la forme générale du descripteur- MQ_{HD} $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle = \sum_j c_j(t_1) |u_j(x)\rangle$ de (5), du descripteur- MQ_{HD} particularisé, à caractère de limite, $|\Psi_{G,H(A)}((1me_{G,exi}), t > t_1)\rangle \equiv e^{i\varphi(x)} |u_{j'}(x)\rangle$ de (6) et 6'. Ce descripteur a constitué la trappe insoupçonnée qui permet de descendre du niveau de description statistique où se placent les ket d'état de MQ_{HD} , jusque dans le volume sous-jacent de la conceptualisation individuelle. Ceci a permis de repartir ensuite de là via le modèle de microétat $me_{G,oc}$ et de former une certaine 'compréhension' assignable au phénomène physique impliqué.

Cela en dépit du fait que, explicitement et avec généralité, MQ_{HD} n'introduit rien d'individuel autrement que par postulats de mesure inintelligibles, ou bien par erreur (ket propres confondus avec ket d'état).

Le face-à-face sur la frontière entre mécanique classique et mécanique quantique réalisé par l'artifice mentionné, et médié par le modèle $me_{G,oc}$, met fortement en évidence quelques faits conceptuels importants :

- MQ_{HD} reste aveugle précisément face à ce qui, dans un microétat me_G , est l'unique point d'application – de nature foncièrement individuelle – des qualifications 'mécaniques', à savoir la singularité à aspects corpusculaire dans l'amplitude de l'onde assignée à chaque exemplaire d'un microétat. Sacré paradoxe pour une 'mécanique' quantique.

- *A fortiori*, le concept complet, usuel, de 'ket d'état de mesure' $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle = \sum_j c_j(t_1) |u_j(x)\rangle$ tel qu'il est défini dans MQ_{HD} – qui est gonflé de tous les contenus statistiques prévisionnels concevables concernant le microétat me_G étudié et une observable A – ne peut même pas arriver à *toucher* le niveau sous-jacent du physique individuel et actuel, que pourtant toute statistique implique nécessairement. Ce descripteur est piégé en plein milieu de la strate descriptionnelle statistique de MQ_{HD} et il y subsiste radicalement déconnecté du niveau de conceptualisation des microétats en tant qu'entités individuelles, matérielles, actuelles. Et pourtant, nous l'avons souligné, il est clair que le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ d'une 'évolution de mesure du ket d'état' doit impérativement être conçu comme impliquant un exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel, du microétat étudié, qui produise les marques physiques qui sont observables à la suite de chaque réalisation factuelle d'une telle évolution de mesure. Sacrée contradiction, pour un descripteur construit exprès afin de représenter des actes d'interactions individuelles, physiques, actuelles dont on doit distinguer mutuellement les effets individuels et les compter, afin de pouvoir vérifier les prévisions statistiques de MQ_{HD} . Dans ce cas l'on flaire à plein nez une méconstrution.

- Enfin, la loi de guidage de Louis de Broglie, la Mécanique Ondulatoire initiée par Schrödinger sur la base de la thèse de Louis de Broglie, la théorie ondulatoire des microétats de de Broglie-Bohm qui se développe depuis 1956, tous ces éléments mis ensemble, semblent d'ores et déjà s'imposer en tant qu'un substrat organiquement nécessaire de la formalisation Hilbert-Dirac développée par von Neumann et Dirac. Les acquis du passé de MQ_{HD} exigent une place explicite et pérenne dans la formalisation actuelle des microétats.

6.6.3.4. [Question-Réponse] numéro 3

Par les considérations de 6.6.3.3 le postulat de codage $\mathcal{P}[\text{Cod}(\text{PMBGB})]$ ne concerne que la catégorie restreinte des microétats à opération de génération G non-composée et qui

ne comportent pas des champs quantiques introduits par des ‘obstacles’. C’est une catégorie vaste mais *particulière*. Cette situation soulève la question *Q3* suivante :

Question Q3. *Comment peut-on traduire en termes d’une valeur de l’observable mesurée, les marques physiques observables produites par un acte de mesure accompli sur un exemplaire d’un microétat à opération de génération G composée, qui implique l’existence de champs quantiques ?*

Avec évidence, cette question est fondamentale. Elle concerne les microétats d’auto-interférence, progressifs (comme dans le cas de l’expérience des trous d’Young), ou liés, comme dans le cas d’un microétat lié stationnaire. Et il s’agit là précisément du noyau *le plus spécifique* de la représentation de microétats.

Il est prématuré d’essayer de former une réponse ici, dans le cadre de cet examen critique préliminaire de ce qu’on appelle la ‘théorie des mesures’ de la mécanique quantique actuelle. Nous mettons cette question en attente et, une fois clos l’examen en cours, nous commencerons la reconstruction de la représentation des mesures quantiques en étudiant tout d’abord le cas particulier des microétats à opération de génération non-composée. Ce n’est que sur la base des premiers résultats obtenus ainsi que l’on pourra aborder ensuite aussi le cas des microétats d’auto-interférence.

6.6.3.5. [Question-Réponse] numéro 4

La corrélation statistique *PMBGB* présuppose un très grand nombre de répétitions d’une ‘évolution de mesure du ket d’état’, représentée par le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$. Il faut donc spécifier la manière de recommencer une évolution de mesure. Dire dans l’abstrait qu’on ‘reconsidère’ le ket d’état étudié $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ (ou même qu’on le re-calcule ?) ne suffit évidemment pas. Un recommencement de cette nature-là n’est pas conceptuellement homogène avec le caractère physique d’un recommencement d’une potentialité d’enregistrement final observable qui finisse l’évolution de mesure $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ considérée en détruisant ou en changeant l’exemplaire $me_{G,exi}$ physique, individuel et actuel du microétat étudié me_G qui y était impliqué¹⁵⁵. Ceci induit la question *Q3* qui suit.

Question Q4. *Comment recommence-t-on une évolution Schrödinger de mesure $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$? Où se trouve l’exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel qui est impliqué par une évolution de mesure donnée, **avant** le moment t_1 quand commence cette évolution de mesure là ? Cet exemplaire $me_{G,exi}$, était-il contenu **dans le ket d’état** $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ étudié ? Était-il ailleurs ?*

Réponse à la question Q4. Cette question – déjà en elle-même, de par les précisions étranges qu’exige sa formulation – porte l’attention sur l’identification illusoire entre l’univers des faits et celui des représentations, et sur le précipice qui en fait sépare l’un de l’autre ces deux univers. Mais en outre, d’une manière précisée, elle focalise l’attention une fois de plus sur l’opération G de génération de l’exemplaire $me_{G,exi}$ individuel et physique du microétat étudié me_G que le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ doit comporter. Et tout-à-coup, du brouillard des interrogations, se forme une réponse qui frappe comme une pierre :

¹⁵⁵Même le postulat MQ_{HD} de projection pose une destruction du microétat étudié.

Le concept d'‘évolution Schrödinger de mesure du ket d'état étudié’ est un essai égaré, malformé, de littéralement fourrer à l'intérieur d'une représentation formelle, et essentiellement statistique, **une succession d'opérations $[G.Mes(A)]$ individuelle, physique et actuelle, au sens de IMQ, et qui, en outre, est voulue codante, mais seulement de manière implicite.**

Or une telle succession individuelle, physique, actuelle, ne trouve évidemment aucune place possible dans une représentation formelle par des ket d'état, *de statistiques de nombres abstraits*. Et alors cette tentative d'insertion illicite de la représentation d'une succession d'opérations $[G.Mes(A)]$ individuelle, physique et actuelle, engendre dans MQ_{HD} une sorte d'ectoplasme d'elle-même qui y trouble les significations acceptables. En effet :

Le désigné physique vers lequel pointe le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ doit impérativement, à l'instar d'une succession $[G.Mes(A)]$ de IMQ, être reconstituable autant de fois qu'on veut. Car dans MQ_{HD} le rôle des mesures est exclusivement de vérifier les prévisions statistiques accumulées dans un ket d'état $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ prédéfini. Or la réalisation une seule fois du processus représenté par le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ ne produit qu'un seul résultat observable, ce qui ne peut évidemment pas suffire pour confirmer ou infirmer l'entier contenu prévisionnel de $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$.

Une fois cette nécessité posée, sa représentation soulève des questions.

En général un enregistrement final qui clôt une ‘évolution de mesure’ $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ donnée, *consume* – à un moment $t > t_1$ – l'exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G impliqué par cette évolution-là¹⁵⁶. Pour obtenir un autre enregistrement de marques observables il faut donc pouvoir produire délibérément une autre évolution de mesure $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ qui mette en action un autre exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel, mais qui soit associé au même ket d'état étudié $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ prédéfini.

Alors **quand** cette mise en action d'un nouvel exemplaire $me_{G,exi}$ pourrait-elle s'accomplir à l'intérieur même de $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$? Dès le moment t_0 quand le microétat étudié me_G , comme aussi tous ses exemplaires individualisés $me_{G,exi}$ est, *lui*, conçu avoir commencé d'exister ? Mais $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ – *par sa définition* – *exclut en général ce moment t_0 là*. Concernant spécifiquement le paramètre de temps de $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ l'on a par construction $t > t_1 \geq t_0$. Cela souligne le fait que :

Dans $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ le paramètre de temps n'est pas le même que celui qui, par remise à t_0 d'un chronomètre, indexe identiquement *toutes* les répétitions de la génération d'une exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G .

Ce qui, à son tour, souligne que d'une manière tout à fait générale les contenus vers lesquels pointent les éléments descriptionnels d'une représentation statistique, dénombrante, globalisante en termes numériques, est *dépourvue d'intersection* avec les contenus vers lesquels pointe une représentation d'actions cognitives et d'entités qui sont conçues par construction comme appartenant au niveau de conceptualisation physique, individuel, actuel. Ces deux sortes de contenus sont posées a priori comme ne *pouvant* pas avoir des éléments communs.

Alors **où** peut se placer une représentation explicite des répétitions de la génération d'un exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G ? Cette représentation est inévitablement nécessaire. Car en général des exemplaires individuels, physiques, actuels $me_{G,exi}$ de précisément le micro-état me_G que l'on veut étudier ne courent pas dans l'air du temps, tout faits

¹⁵⁶C'est la différence majeure avec le cas des microétats liés dans une microstructure.

et reconnaissables à l'œil nu, et lorsqu'on en engendre un physiquement en effectuant une opération de génération G , on ne peut pas l'installer à la main dans un descripteur statistique $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ où il n'y a de la place que pour des symboles liés à des statistiques numériques. On n'est pas dans un dessin animé complété par quelques acteurs vivants.

La réponse est évidente. Elle ne peut trouver place que sur un niveau de conceptualisation individuel.

Or dans le formalisme mathématique de MQ_{HD} le niveau de conceptualisation individuelle est quasi vide (la seule exception sont les valeurs propres postulées *Deus ex machina*, cependant que les ket propres sont présentés comme des limites de distributions statistiques). Et en tout cas les opérations de génération G d'exemplaires $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G n'y sont pas représentées.

Cependant que dans IMQ le niveau de conceptualisation individuelle est peuplé par des représentations explicites, et notamment par la représentation de successions de mesure $[G.Mes(A)]$. Ainsi, par comparaison avec IMQ , il devient clair qu'en effet :

Le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ de MQ_{HD} pointe en fait vers le concept IMQ de succession de mesure représenté par le symbole $[G.Mes(A)]$, dont on a perçu faiblement la nécessité cependant que dans MQ_{HD} ce concept ne trouve aucune possibilité d'être représenté.

Voilà la réponse globale à la *Question 4*.

Mais dans ces conditions, puisque le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ de MQ_{HD} exprime l'intention de représenter une succession de mesure $[G.Mes(A)]$ au sens de IMQ , à *quoi sert le report dans $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ de tous les coefficients d'expansion $c_j(t_1)$ du ket d'état étudié $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$* ? Quand la mission spécifique des 'évolutions Schrödinger de mesure' représentées par le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ est précisément de *vérifier* les prévisions statistiques du ket d'état $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ exprimées par les coefficients $c_j(t_1)$, via un dénombrement *un à un* des résultats finals que les évolutions désignées par $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ ne produisent que *successivement*, et qui, *afin de vérifier la statistique prévisionnelle, doivent la reproduire, non pas l'introduire à l'avance toute faite* ?

L'introduction dans $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ des $c_j(t_1)$ de $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$ est à la fois superflue et circulaire.

La représentation de von Neumann qui fourre en plus dans $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ une représentation des états propres de l'appareil, a fait un travail excellent pour mieux cacher cette situation.

Le concept d'évolution Schrödinger de mesure du ket d'état étudié doit être supprimé.

C'est un concept illusoire, impossible, qui mélange deux niveaux de description fondamentalement disjoints tout autant conceptuellement que d'un point de vue seulement formel. Rien n'est clair dans ce concept : ni sa représentation ; ni le but factuel ; ni les opérations factuelles impliquées, leur moment et leur location factuelle et formelle : ni la forme mathématique associée, ni les façons de dire qui l'accompagnent. On ne peut en faire aucun usage effectif. C'est juste un hybride inutile qui, par son existence, induit à la passivité descriptive. En fait, on ne peut que s'en étonner, cependant que l'on est contraint, lorsqu'on agit, d'agir *indépendamment* de ce concept. Et c'est bien cela qui se passe depuis quelque

80 ans. Depuis plus de 80 ans la mécanique quantique travaille, mais en dehors de toute théorie générale des mesures quantiques. C'est invraisemblable et pourtant c'est ainsi.

6.6.4. Conclusion sur 'la théorie des mesures' de MQ_{HD}

Ecrivons en toutes lettres, et isolée, la conclusion globale sur les contenus du point 6.6.3 :

La mécanique quantique actuelle est tout simplement dépourvue d'une théorie générale des mesures.

6.7. Conclusion globale sur le chapitre 6

Dans le chapitre 6, par comparaison avec IMQ , nous venons d'accomplir au galop un examen critique-constructif de ce que dans MQ_{HD} on appelle 'la théorie des mesures'.

Du point de vue critique le constat est le suivant.

- MQ_{HD} ne contient aucune représentation délibérée des microétats physiques, individuels, actuels, qui constituent son objet concret d'étude. Elle ne représente ces microétats que – directement et exclusivement – via des statistiques prévisionnelles abstraites, via des nombres exprimant des fréquences relatives de résultats de mesure posées avoir été accomplies sur de tels microétats physiques et individuels.

- Mais la manière dont ces statistiques peuvent être obtenues ou vérifiées, reste non dite. MQ_{HD} est dépourvue d'une théorie des mesures, en conséquence de :

(a) la représentation formelle de von Neumann des processus de mesure, qui n'est pas acceptable d'un point de vue épistémologique ;

(b) l'absence d'une distinction claire entre le niveau de conceptualisation individuelle des microétats, et le niveau de conceptualisation statistique ;

(c) l'absence d'un modèle de microétat permettant d'établir des règles de codage des marques physiques observables produites par un acte de mesure, en termes conceptualisés et numériques ;

(d) l'absence de toute représentation, à l'intérieur du formalisme, du rôle fondamental des opérations G de génération des microétats physiques individuels.

- Les absences énumérées plus haut entraînent en plus :

(e) une vue confuse sur la signification du concept de ket propre ;

(f) tout un cortège d'autres confusions plus marginales.

Nonobstant cette énumération de critiques catastrophiques, MQ_{HD} travaille. Elle a conduit à des succès et elle peut continuer de produire d'autres réalisations. Car l'immense génie de l'homme secrète toujours des façons locales de comprendre et de faire progresser. La seule *croissance* qu'il existe une théorie des mesures quantiques, semble suffire aux physiciens pour résoudre les problèmes locaux qui les confrontent. Cela établit notamment qu'une théorie des mesures quantiques est *possible*, puisque sans aucun doute l'on mesure très souvent.

D'autre part la construction d'une théorie générale des mesures sur des microétats s'impose, avec urgence conceptuelle, même si l'urgence pratique ne s'impose pas. En effet :

Que vaut – en tant que théorie – une représentation d’entités physiques qui ne sont pas perceptibles, si cette représentation est dépourvue d’une procédure bien définie et toujours applicable pour accomplir sur ces entités des mesures qui permettent de les qualifier ?

Du point de vue constructif, maintenant, le bilan est le suivant.

Au fur et à mesure que les constats critiques ont surgi, nous y avons répondu localement par des corrections constructives, là où cela était possible immédiatement :

- Nous avons signalé la distinction claire qu’il est impératif d’introduire entre les niveaux de conceptualisation individuel et statistique.

- Nous avons explicité la signification foncièrement individuelle du concept de ket propre.

- Nous avons mis en évidence quelques effets notables immédiats de la prise en compte de l’opérateur de génération du microétat physique individuel qui est étudié.

- Nous avons explicité le modèle de microétat présupposé implicitement par le formalisme quantique et nous en avons introduit une postulation explicite $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$, mise en relation avec IMQ , ce qui la rend opérationnelle.

- Nous avons identifié la règle de codage impliquée dans les essais d’établir une théorie MQ_{HD} des mesures.

- Nous en avons explicité le domaine de validité, et, pour ce domaine là, nous avons introduit la règle de codage mentionnée, par un postulat explicite dénoté $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$; etc.

Bref, cependant que nous avons nettoyé, nous avons parsemé d’ores et déjà des brins de construction.

Dans le chapitre suivant, sur le chantier aménagé ainsi, nous allons maintenant entreprendre la construction systématique d’une deuxième mécanique quantique.

7

Mesures Quantiques et émergence des Principes d'une 2ème Mécanique Quantique : *MQ2*

7.1. Annonce

Dans la phase présente du développement de ce travail nous disposons déjà d'éléments importants pour aborder la construction d'une théorie acceptable des mesures quantiques. En effet, à l'entière structure de *IMQ* et aux mises en évidence gagnées au cours des points 6.2-6.5, se sont ajoutées maintenant quelques élucidations majeures, à savoir le refus de la théorie des mesures de von Neumann, une conscience claire de l'importance de la séparation des microétats en deux grandes catégories (ceux qui évoluent en absence de champs quantiques, et ceux qui évoluent sous l'action de champs quantiques, et enfin, un postulat de codage par localisation spatiale, $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$, affirmé exclusivement pour les microétats progressifs sans champs quantiques.

Mais afin de pouvoir, sur la base déjà constituée, construire une représentation véritablement acceptable des mesures sur des microétats, il faudra favoriser organiser dans le même temps l'organisation d'un nouveau cadre conceptuel formel *global* où chaque élément de la représentation des processus de mesure puisse trouver une place d'accueil pré-aménagée, bien définie, légalisée.

C'est dire que, autour de la représentation recherchée pour les processus de mesure quantiques, se formeront aussi, plus ou moins explicitement, les principes d'une nouvelle mécanique quantique. Cette nouvelle représentation est dénommée a priori *une 2ème Mécanique Quantique et elle est dénotée MQ2*.

Par une massive *décision* constructive initiale, *MQ2* incorpore d'emblée l'entière *IMQ*, en tant qu'un fondement pour la construction qui suit.

Il apparaîtra dans ce qui suit à quel point cette incorporation est non-triviale dans ses conséquences. Les représentations propres de *MQ2* continueront d'être spécifiées par référence à *IMQ*. Mais *IMQ* étant désormais intériorisée, ces spécifications cesseront d'avoir le statut de conclusions induites par des comparaisons qui n'entraînent qu'un accroissement de l'intelligibilité d'une structure qui est séparée de la structure de référence. Ces spécifications s'introduiront désormais dans la trame même de *MQ2*, comme des conditions de cohérence interne, de pertinence et solidité face à ses propres fondements. Elles acquerront une place à l'intérieur de *MQ2*, et un rôle d'une *nature* nouvelle, comme matérialisé. Cela

sera parfois souligné par des re-notations en tant qu'éléments de $MQ2$.

L'édification de $MQ2$ commencera par un processus explicitement centré sur le but de construire une représentation des processus de mesure quantique qui soit valide pour toutes les catégories de microétats. Ce n'est que *cette* représentation qui sera visée *directement* au cours de ce chapitre 7. C'est elle qui déterminera la nature et l'ordre des analyses, des élucidations, et des constructions de quelques représentations mathématiques nouvelles. Car dans une représentation *scientifique* de micro-entités physiques foncièrement non perceptibles, l'existence, ou pas, de processus bien définis par lesquels une 'connaissance' de ces entités est assurée, tient évidemment un rôle radical : elle détermine l'existence, ou pas, de l'entière représentation scientifique elle-même.

Mais une représentation des mesures quantiques valide pour tout microétat, comportera sûrement certaines structurations internes et certains contours qui auront potentiellement préformé l'entier squelette de la représentation globale, ainsi que ses contours et son entier être.

7.2. 'Fonctions d'état' versus contenus physiques-conceptuels selon la catégorie de microétats

Les chapitres 5 et 6, qui ont mis en évidence le rôle fondamental des opérations de génération G d'exemplaires individuels et physiques du microétat étudié, a attiré l'attention sur le fait que ces opérations introduisent deux grandes catégories de microétats :

* microétats à opération de génération non-composée (qui sont toujours non-liés) et qui évoluent en milieu libre de champs quantiques ;
 * microétats à opérations de génération composée, qui se subdivisent dans les sous-catégories suivantes :

- à opérations de génération composée et liés dans une microstructure stable ;
- à opérations de génération composée, mais progressifs (libres).

Dans ce qui suit, cette catégorisation des microétats qui dans MQ_{HD} n'est pas reconnue et utilisée, sera notre fil d'Ariane.

Le postulat modélisant général $PM(me_{G,oc})$ marquera le caractère résolument opérationnel au sens physique du mot, que IMQ importe dans $MQ2$.

7.2.1. Fonctions d'onde individuelle et fonction d'onde statistique

Historiquement, c'est la catégorie des microétats liés dans une microstructure stable qui a d'abord concentré sur elle le plus d'attention. Mais le concept représentationnel général forgé au départ par Louis de Broglie, celui de '*fonction d'onde*' associée à un microétat, a imprimé son sceau sur l'entière représentation mathématique des microétats. Il paraît adéquat de commencer l'élaboration de $MQ2$ par une mise en évidence de certaines spécificités mutuelles des contenus physiques-conceptuels des fonctions d'onde qui interviennent dans la représentation des catégories de microétats qui, ici, sont singularisées mutuellement par les catégories correspondantes d'opération de génération G d'un microétat qu'elles présupposent.

Dans sa thèse Louis de Broglie a défini le modèle fondateur d'onde corpusculaire' (ou 'onde-particule') selon lequel un microétat *individuel* consiste dans un phénomène ondulatoire dont l'*amplitude* comporte une singularité très localisée dans l'espace, de valeur relativement très grande, et qui, en conséquence de sa stricte localisation, possède des

caractères ‘corpusculaires’ qui admettent des qualifications mécaniques (position, vitesse, etc.).

Mais ce modèle individuel – en tant que tel – n’a été exprimé dans la thèse de Louis de Broglie que par des *mots*. Cependant que l’expression mathématique qui a été associée au modèle individuel – dénommée ‘fonction d’onde’ – a d’emblée mélangé la représentation d’éléments de ce modèle d’une *entité physique*, avec une représentation – via des algorithmes – de *connaissances statistiques* acquises par des actes de mesure accomplis sur le microétat physique impliqué. En outre, lorsqu’on passe d’une catégorie de microétat à une autre pour laquelle le type d’opération de génération impliquée est différent, la forme mathématique du descripteur ‘fonction d’état’ utilisé dans MQ_{HD} n’est pas modifiée elle aussi, tandis que le type et le degré de mélange des significations impliquées, *varient*.

Ces circonstances engendrent des incompréhensions très insidieuses qui se trouvent à la base de l’absence de consensus en ce qui concerne ‘la’ signification d’une fonction d’onde. Cette absence de consensus s’étend irrémédiablement à la signification d’un ‘ket d’état’, qui loge une fonction d’état.

Revenons plus en détail sur le processus historique.

Dans les toutes premières pages de la thèse de Louis de Broglie, le microétat étudié – celui d’un électron libre – a d’abord été représenté mathématiquement par une ‘fonction de phase’ qui désignait une idéalité mathématique. À savoir une onde plane $ae^{i\varphi(x,t)}$ où la fonction d’amplitude a était une *constante* dépourvue de signification physique. Cependant que la fonction $\varphi(x,t)$ exprimait la phase du phénomène ondulatoire *individuel* et physique posé dans le modèle d’‘onde corpusculaire’. Selon le langage de Louis de Broglie il ne s’agissait d’ailleurs *que* d’une ‘fonction de phase’. Ainsi l’amplitude du phénomène individuel et physique considéré, et a fortiori la singularité ‘corpusculaire’ comportée par son amplitude physique – si importantes pour la possibilité d’associer à l’onde considérée, des qualifications ‘mécaniques’ – sont restées non-représentées mathématiquement au cours du début de l’approche, et même ignorées en un certain sens.

Pourtant la représentation globale par une onde plane a suffi pour conduire quasi immédiatement à la formule fondatrice $p = h/v$, qui a conduit au microscope électronique, à l’équation de Schrödinger, etc.

Dans un deuxième temps de sa thèse (après seulement quelques pages), Louis de Broglie a remplacé l’amplitude constante a de la fonction ‘de phase’ par une fonction $a(x,t)$ variable dans l’espace et le temps, la nouvelle fonction d’onde $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ étant représentée mathématiquement par un ‘paquet d’ondes planes’ au sens d’une décomposition de Fourier. Et à l’amplitude de cette nouvelle fonction d’onde était attribuée maintenant une signification *statistique*. À savoir la signification d’une probabilité de ‘présence’ de la singularité dans l’amplitude du phénomène ondulatoire individuel et physique posé par le modèle d’onde corpusculaire ; donc $a(x,t)$ était posée cette fois être intégrable en module carré, et l’intégrale était posée avoir la valeur numérique 1. D’autre part le maximum de cette amplitude a été plus ou moins vaguement regardé par certains comme une représentation de la singularité dans l’amplitude ; mais ceci est évidemment incompatible avec une normation à 1 liée à une probabilité de présence, qui soumet les valeurs locales de $a(x,t)$ à un critère représentationnel foncièrement différent de celui de la valeur numérique qui caractériserait l’amplitude de l’onde physique. Ainsi a été introduit un concept de ‘fonction d’onde’ $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ qui a *quitté* franchement le rôle de représentant d’un modèle idéal d’une microétat libre, pour assumer un rôle descriptionnel nouveau, et mélangé : l’amplitude $a(x,t)$ – toujours dépourvue d’une représentation mathématique d’une

singularité – exprimait désormais une *connaissance* statistique potentielle, prévisionnelle, celle de la probabilité, lors d’une éventuelle mesure de ‘présence’, de trouver ici ou là dans l’espace-temps, une manifestation observable de la singularité du modèle sous-jacent. Cependant que le *modèle* d’onde à aspect corpusculaire lui-même, avec sa singularité dans l’amplitude et sa phase *individuelles*, à peine né, a été aussitôt coupé de toute description mathématique propre et achevée, et de toute utilisation directe. Car dans la fonction d’onde $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$, même la fonction de phase $\varphi(x,t)$ qui dans l’expression initiale $\Psi(x,t) = ae^{i\varphi(x,t)}$ d’une onde plane indiquait la phase de l’onde individuelle et physique conçue par Louis de Broglie, cesse maintenant d’avoir une signification clairement individuelle et clairement physique. Cette fonction de phase s’y trouve subrepticement mélangée à un concept d’outil de calcul de connaissances statistiques prévisionnelles. Ainsi :

Avant même de se constituer, le formalisme qui venait juste de naître a abandonné dans le non-exprimé mathématiquement, l’entier niveau de conceptualisation strictement *individuel*, physique, actuel.

L’entité-objet-de-description individuelle, physique, actuelle, indiquée dans *IMQ* par le mot ‘microétat’, devenait invisible dans ‘sa’ représentation mathématique par une fonction d’onde. ‘Sa’ représentation avait en fait muté dans une description de connaissance statistiques prévisionnelles la concernant. Cette mutation, très importante et très rapide, a eu lieu dans les premières pages de la thèse de Louis de Broglie, une sorte de Big Bang conceptuel.

Je suppose que cette mutation fulgurante a été l’effet d’une perception plus ou moins implicite, par Louis de Broglie, de l’inévitable statisticité *primordiale* qui s’associe à ce que, dans *IMQ*, a été dénommé ‘une opération *G* de génération d’un microétat’ et qui y a conduit à la décision méthodologique DM (2.2.3).

C’est ce concept de ‘fonction d’onde’, sémantiquement ambigu en conséquence de sa polyvalence génétique, qui s’est trouvé embarqué dans l’histoire de la mécanique quantique, et, cependant qu’il y a été extrêmement fertile, il y a conduit d’autre part à des confusions. Ces confusions s’amplifient notamment lorsqu’on considère des micro-états à deux ou plusieurs micro-systèmes, au sens de *IMQ* : les statistiques prévisionnelles deviennent alors trop étranges (2.6.2.1) pour que l’on puisse encore deviner à force d’intuitions courantes à quelle sorte de réel physique elles peuvent se rapporter.

La possibilité de confusions laissée ouverte dans sa thèse, a constitué beaucoup plus tard l’une des raisons qui ont finalement conduit Louis de Broglie [1956] à formuler de manière explicite sa ‘théorie de la double solution’ où il distingue enfin d’une manière radicalement et systématique entre une représentation mathématique bien définie du modèle d’onde corpusculaire posé pour un exemplaire individuel et physique du microétat étudié, et d’autre part, une représentation mathématique des connaissances statistiques prévisionnelles concernant ce microétat.

Mais même une ‘double solution’ – l’une individuelle et l’autre statistique-probabiliste – d’une et même équation d’évolution, comme dans l’interprétation causale de Louis de Broglie, apparaît a priori comme non acceptable. Afin d’aller jusqu’au bout de la distinction [(individuel-physique)–(statistique-abstrait)] il faudra, à terme, poser deux équations d’évolution, l’une à variations continues et l’autre à variations discrètes, et il faudra élaborer leurs relations mutuelles.

Dans ce qui suit nous détaillons successivement les sortes de mélanges de contenus sémantiques vers lesquels, à ce jour même, pointe la fonction d'état associée aux trois types de microétats qui intéressent ici : auto-interférent et lié, auto-interférent et progressif, ou libre de tout champ quantique.

Nous considérons d'abord exclusivement le cas des micro-états à un seul micro-système, au sens de 2.4.2. Le cas des micro-états à deux ou plusieurs micro-systèmes ne sera considéré que plus tard.

7.2.2. *Micro-états de un micro-système à opération de génération composée*

7.2.2.1. *Microétats à opération de génération composée liés dans une microstructure stable*

Les étapes de la genèse d'un microétat lié dans une microstructure stable sont moins déployées dans l'esprit du concepteur-observateur humain que les étapes de la genèse d'un microétat non-lié. Car l'observateur humain ne prend contact avec un microétat lié que lorsque celui-ci a déjà été mis physiquement en existence en tant que tel par des interactions naturelles. Cette entité se présente donc à lui comme disponible d'emblée pour être étudiée. Cela supprime la présence dans le champ d'attention, d'une 'opération de génération G au sens de IMQ '. En conséquence de cette suppression un microétat lié se présente à l'esprit de l'observateur-concepteur d'une manière similaire à celle d'un 'objet' au sens classique, qui se trouverait là 'tel qu'il est vraiment en lui-même', indépendamment de l'existence de tout observateur.

Mais supposons que – bien qu'il ne se soit pas agi d'un processus humain et délibéré, mais d'un processus naturel – l'on veuille néanmoins se représenter rétroactivement ce processus en termes d'une opération de génération G au sens de IMQ , afin de se doter dans son esprit d'une cohérence globale en ce qui concerne ce concept. L'on est alors conduit vers une représentation à deux composantes, $G(G_1, G_2)$, qui seraient intervenues successivement. Par exemple, dans le cas de l' 'électron' d'un atome d'hydrogène l'on est conduit à imaginer dans un premier temps la déviation de la singularité à aspects 'corpusculaires' de l'amplitude du phénomène ondulatoire comporté par ce qu'on dénomme un 'électron' libre, vers le centre d'attraction constitué par un noyau d'hydrogène¹⁵⁷. Ceci serait assimilable à une opération de génération G_1 . Puis, dans un deuxième temps, l'on imagine une *rencontre* – au voisinage de la singularité mentionnée – de l'onde de l'exemplaire $me_{G,exi}$ de l'électron considéré, *avec elle-même*, comme en conséquence d'une 'réflexion' de cette onde par un obstacle. Cette réflexion serait assimilable à une opération de génération G_2

¹⁵⁷Une 'autre' singularité dans l'amplitude d'un 'autre' phénomène ondulatoire étendu. Mais que veut dire ici 'autre' ? Juste une réminiscence des modes classiques de conceptualiser en termes d' 'objets' *mutuellement délimités* ? Sinon, comment *dire* quoi que ce soit ? Concernant cette genèse d'un atome d'hydrogène, l'esprit agit en fait au delà de la limite du déjà véritablement conceptualisé. L'on pourrait dire qu'il se trouve sur le fil sans épaisseur de la frontière même entre conceptualisé et encore jamais conceptualisé. C'est le domaine encore mystérieux où s'agitent obscurément les images suscitées par les expressions verbales 'champs quantiques', 'milieu subquantique', 'interférence', 'intrication', que le modèle onde-'corpusculaire' traîne avec lui. Mais c'est là, dans ce domaine, que se cache la véritable spécificité du monde microscopique. Toutefois une chose est désormais claire : Si l'on veut sortir de la si longue période de stérilité conceptuelle et de confusions – même mathématiques – dans laquelle nous a emprisonné l'interdiction bohrienne de tout modèle, il faut laisser l'imagination humaine travailler librement à l'intérieur des *seules* contraintes imposées par les conditions générales de scientificité (communicabilité, vérifiabilité, consensualité). Car, comme dans l'art, ce n'est qu'à l'aide de l'imagination que l'on arrive à identifier et maintenir un cap, vaincre les incompréhensions, et réaliser quelquefois du merveilleux ou de l'extraordinaire. Nos intuitions modélisatrices nous relient par des processus indicibles au réel non-connaissable en soi. Les contraintes formelles sont à imposer lorsque l'intuition aura déjà travaillé suffisamment par essais et erreurs, mais sans limitations a priori, sous ses propres contraintes de cohérence, sémantiques.

qui vient se composer avec l'effet de G_1 ¹⁵⁸. Ce qui aura finalement installé un microétat stationnaire d'auto-interférence à opération de génération assimilable à une opération composée $G(G_1, G_2)$, disponible d'emblée pour être étudié par des observateurs-concepteurs humains, via des actes de mesure.

Selon MQ_{HD} la représentation mathématique d'un tel microétat est donc de la catégorie générale d'application de l'expression (2) de 6.3.2.

Or les deux fonctions d'onde qui interviennent dans les deux ket de la superposition (2) sont dotées de contenus potentiels prévisionnels statistiques, abstraits.

Dans le cas d'un microétat lié, l'exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et *actuel*, du microétat à étudier (électron, neutron, proton) est piégé durablement dans le domaine d'espace-temps très restreint sous-jacent à l'entière microstructure liante. Et ce domaine de capture d'une portion de réel physique actuel, reste stablement inchangé face au référentiel propre de la microstructure considérée. Corrélativement, un tel microétat lié ne peut faire objet que d'actes de mesures qui ne le consomment pas, des actes de mesure *indirects*, accomplis via des microétats-sonde. Ainsi tous les aspects de nature *physique* assignés via le postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$, à l'exemplaire individuel et physique $me_{G,exi}$ mis en jeu (amplitude et phase de l'onde individuelle de $me_{G,exi}$, singularité localisée de l'amplitude), sont conçus a priori comme *peuplant* constamment le minuscule domaine d'espace-temps (globalement mobile) d'emprisonnement de $me_{G,exi}$ dans la microstructure liante¹⁵⁹. La présence dans ce domaine d'espace-temps de l'exemplaire $me_{G,exi}$ de me_G individuel, physique, actuel, devrait être *représentée* elle aussi, mathématiquement, et d'une manière séparée, propre, spécifique. Une telle représentation mathématique propre *accepterait* elle aussi une représentation du type (2), spécifiée convenablement en relation avec l'opération de génération $G(G_1, G_2)$ et avec le postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$. Mais le domaine d'espace-temps 'physique' de *cette* représentation, devrait être *réservé* exclusivement aux aspects individuels, physiques et actuels de $me_{G,exi}$, ceux que l'on conçoit comme 'cause' de la représentation de connaissances statistiques prévisionnelles correspondantes offerte par la fonction d'onde statistique $\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}$.

Pendant que les statistiques prévisionnelles qui concernent l'exemplaire $me_{G,exi}$ piégé dans une microstructure, représentées par la fonction d'onde statistique $\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}$, sont, elles, de la nature d'une pure connaissance qui en quelque sorte habille l'être physique ' $me_{G,exi}$ ' d'un vêtement conceptuel numérique. Ces connaissances consistent exclusivement en dénombrements abstraits des fréquences relatives de réalisation de telle ou telle valeur numérique d'une grandeur mécanique assignée à $me_{G,exi}$, que les observateurs-concepteurs arrivent à définir et à identifier de façon consensuelle en produisant à partir de $me_{G,exi}$ des successions $[G.Mes(A)]$ d'interactions de mesure très nombreuses qui, pour chaque observable mécanique A , conduisent chacun à un enregistrement de marques observables codés en termes d'une valeur a_j de \mathbf{A} . Chacune de ces grandeurs mécaniques exige alors un 'espace' de représentation propre à \mathbf{A} , sous-tendu par un axe portant (via codage) les valeurs propres a_j de \mathbf{A} (pour l'ECOC respectif il faut en général plusieurs axes), et un axe de temps où inscrire les états de l'évolution *de l'ensemble des ces statistiques prévisionnelles abstraites*.

Cette sorte d'espace de représentation, qui loge les états et l'évolution des statistiques

¹⁵⁸Cette représentation est précisément celle, tirée de la théorie macroscopique des cordes vibrantes et combinée avec le postulat de Bohr, qui a conduit Louis de Broglie au modèle 'onde-corpusculaire'.

¹⁵⁹Au sens du postulat de Kant selon lequel l'espace et le temps qualifiés couramment comme 'physiques' sont en fait des « formes a priori de l'intuition » humaine, où nous logeons irrépessiblement nos perceptions d'entités physiques (effectives ou même seulement imaginées).

prévisionnelles numériques de valeurs de grandeurs mécaniques, n'est pas identifiable à l'espace de représentation qui loge la modélisation de l'exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel, avec les aspects physiques ondulatoires qui lui sont assignés par le postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$.

Les deux types d'espaces de représentation mentionnés, tous les deux multidimensionnels, sont foncièrement différents, bien qu'ils soient intimement reliés. Ils devraient donc être distingués l'un de l'autre comme on distingue le corps de l'habit.

Mais en fait, comme déjà souligné, l'espace de représentation de l'exemplaire individuel et physique $me_{G,exi}$ qui est impliqué n'est pas singularisé face à l'espace de représentation des prévisions statistiques. Dans MQ_{HD} l'on tend même à ne pas concevoir, ni $me_{G,exi}$ ni la nécessité d'une représentation qui lui soit spécifique. Dans MQ_{HD} on tend à se focaliser *exclusivement* sur l'instrument mathématique de prévisions statistiques.

Or le phénomène physique impliqué était sans doute fortement présent à l'esprit de Louis Broglie, ainsi qu'à celui de Schrödinger, car tous les deux partis explicitement de cet espace-là. Et, à ce jour, cet espace de représentation de l'exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat me_G lui-même, individuel, physique et actuel, qui est piégé dans un microstructure stable, reste présent à l'esprit d'un bon nombre de physiciens.

Pour les raisons explicitées, l'absence d'un espace de représentation explicitement assigné à l'entité physique décrite elle-même, offre terrain à des questionnements (notamment, le sens de la nécessité, en général, d'un espace de représentation à plus de trois dimensions spatiale et une dimension temporelle) et à des confusions qui s'opposent à tout consensus sur la signification de la fonction d'état du ket d'état d'un microétat lié.

7.2.2.2. Microétats progressifs à un microsystème, à opération de génération composée

L'essence de qui vient d'être signalé pour la fonction d'onde d'un microétat lié – la nécessité de deux représentation distinctes et reliées – vaut également pour la catégorie des microétats non liés qui sont *auto-interférents*¹⁶⁰. L'exemple paradigmatique de cette catégorie est celui de l'expérience des trous d'Young, où les deux composantes de G qui sont impliquées s'installent à la fois. En ce cas aussi le ket d'état comporte une fonction d'onde qui conduit à la structure générale (2) (6.3.2) :

$$|\Psi_{G(G_1, G_2)}(x, t)\rangle = \lambda_1 |\Psi_{G_1}(x, t)\rangle + \lambda_2 |\Psi_{G_2}(x, t)\rangle \quad (2)$$

Dans le cas d'un microétat lié, n'intervient qu'une seule réalisation, naturelle, d'une genèse qui est seulement *conçue* comme une opération de génération $G(G_1, G_2)$ humaine, délibérée. Cependant que dans une auto-interférence progressive d'Young l'opération de génération composée $G(G_1, G_2)$ est effectivement réalisée par le concepteur-observateur, de manière délibérée et un nombre illimité de fois. Cela met en jeu un nombre illimité d'exemplaires individuels et physiques $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G , qui interviennent séparément l'un de l'autre, cependant que *chaque exemplaire $me_{G,exi}$ est auto-interférent*, i.e. il crée son propre champ quantique. Corrélativement, chaque exemplaire $me_{G,exi}$ peut agir dans une succession de mesure $[G.Mes(A)]$, pour tout \mathbf{A} , via un acte de mesure direct (notamment un impact sur un écran perpendiculaire à la direction de propagation) qui en général *consomme* l'exemplaire $me_{G,exi}$ impliqué, lors de l'enregistrement final de la

¹⁶⁰Sur certaines régions d'espace qui interviennent dans les cas idéaux de 'barrière' ou 'mur' de potentiel, l'on peut concevoir – comme dans le cas d'un microétat lié – des 'composantes' distinctes de l'opération de génération G qui agissent successivement et installent, en ce cas, un état d'auto-interférence *progressive*.

marque physique produite. Ces caractéristiques exigent d'assigner cette fois explicitement à la fonction d'onde introduite – en dehors de la signification de représentant de statistiques prévisionnelles – un rôle, aussi, de représentant d'un phénomène ondulatoire physique *doté d'une singularité capable de produire des manifestations localisées observables* : ce caractère modélisant ne peut plus être occulté.

Et pourtant, de nouveau une seule fonction d'onde intervient, dont la fonction d'amplitude $a(x,t)$ signifie à la fois une prévision statistique de 'probabilité de présence', via $|a(x,t)|^2$, cependant que l'amplitude $a(x,t)$ est utilisée aussi pour représenter le phénomène ondulatoire individuel, physique et actuel que l'on postule en tant qu'explication des manifestations observables localisées qui finissent par constituer les franges d'interférence. Mais nonobstant cette participation – essentielle – de la fonction d'amplitude $a(x,t)$, à la représentation de phénomènes physiques individuels et actuels, l'intégrale de l'expression $|a(x,t)|^2$ est *normée* à 1 comme une représentation *purement* formelle :

Une fois de plus, comme pour les microétats liés, l'individuel est mélangé avec du statistique, et le mélange sacrifie l'expression exacte des caractères spécifiquement individuels, physiques, actuels¹⁶¹.

L'on voit déjà la multitude des nuances que l'on fourre sous la couverture d'une et même sorte d'expression mathématique. Dans le même temps l'on voit aussi l'étendue des confusions qui, de ce fait, sont possibles entre [individuel, physique, actuel] et [formel et statistique-virtuel]¹⁶². L'on voit aussi à quel point dans MQ_{HD} les représentations mathématiques sont décollées de ce qui est impliqué d'un point de vue physique ou conceptuel.

7.2.3. *Microétats progressifs, à un microsystème, à opération de génération non-composée*

Les microétats progressifs de un microsystème et à opération de génération non-composée sont *sans* auto-interférence : ils constituent l'unique catégorie de microétats qui permette de supposer l'absence totale de champs quantiques¹⁶³.

Dans ce cas la fonction d'onde statistique $\Psi_G(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ est *entièrement vidée* de contenus à signification individuelle, physique. Les significations individuelles physiques restent entièrement extérieures aux contenus sémantiques, exclusivement abstraits, de la fonction d'onde. Pourtant la *forme* mathématique $\Psi_{G,H}(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ de

¹⁶¹Sans doute pour des raisons d'« économie » d'expression mathématique. Mais on peut penser que la distinction de forme mathématique entre la représentation d'un exemplaire $me_{G,exi}$ de me_G , et la représentation des statistiques prévisionnelles, pourrait être réduite à une différence du genre de celle que l'on fait entre un nombre de l'intérieur d'un ensemble de nombres, et la valeur moyenne de tous les nombres de cet ensemble. Cela pourrait expliquer le caractère tellement synthétique du formalisme quantique, et le fait que ce formalisme est ambigu sans être pour autant proprement 'faux' : Les algorithmes de décomposition spectrale, etc. ($|\Psi(x,t)\rangle = \sum_j c_j(t) |u_j(x)\rangle$, $\langle u_{j'}(x) | \Psi(x,t) \rangle = c_{j'}(t)$, $|c_{j'}|^2 = p(a_{j'})$, (où les coefficients jouent un rôle d'« amplitude de probabilité prévisionnelle ») peuvent probablement être appliqués à l'aide de fonctions d'état calculées *à partir* de fonctions d'onde qui représentent des phénomènes ondulatoires individuels et physiques, sur lesquelles on *moyennerait séparément la fonction d'amplitude et la fonction de phase*.

¹⁶²L'on conçoit ainsi plus facilement comment une escalade d'uniformisations qui effacent du sémantique de plus en plus, peut conduire jusqu'à finalement confondre à l'intérieur d'une représentation formelle malformée, la réalisation d'une opération physique de génération G d'un exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel du microétat étudié me_G , avec l'écriture formelle d'un « ket d'état de 'préparation pour mesure' du ket d'état étudié ».

¹⁶³Dans le cas de un microétat de deux (ou plusieurs) microsystèmes, on verra, le modèle $me_{G,oc}$ permet de concevoir qu'il existerait *toujours* un champ quantique.

fonction ‘d’onde’ continue d’être placée à l’intérieur d’un signe ‘| \rangle ’ de ket¹⁶⁴.

Ainsi le contenu de significations d’un ket d’état $|\Psi_{G,H}(t)\rangle$ formé avec la fonction d’onde d’un microétat à opération de génération non-composée et qui évolue sans obstacles matériels, est *identifiable* au contenu de significations d’une description statistique au sens de *IMQ*, $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, M|p^t(me_G), \forall A \in V_M)]$.

C’est ce cas qui se réalise lorsqu’on peut affirmer le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ par localisation spatiale des marques observées.

Corrélativement, dans ce cas vidé de contenus individuels, physiques et actuels, il devient clair que la représentation des actes de mesure – qui, eux, impliquent nécessairement des exemplaires $me_{G,exi}$ individuels, physiques et actuels du microétat me_G étudié, des exemplaires aptes à produire des marques physiques observables – ne peut plus être identifiée plus ou moins impunément avec la représentation des connaissances statistiques prévisionnelles concernant ce microétat. Dans ce cas l’on est tout simplement forcé de clairement descendre la représentation des actes individuels de mesure, sur le niveau des représentations d’opérations et d’entités individuelles et physiques (6.6.3.5). Car l’intrusion d’actes de mesure individuels, physiques, actuels, à l’intérieur du statistique *pur*, fait enfin tout simplement scandale, parce qu’on ne comprend plus du tout comment ils peuvent s’y embarquer.

7.2.4. Catégorisation explicite des types de microétats

En confrontant *IMQ* avec la représentation de Broglie-Bohm (*DBB*) des phénomènes quantiques, où sont explicitement introduits des champs quantiques, nous discernons l’utilité d’introduire la catégorisation suivante :

- La catégorie des *microétats progressifs à un seul microsystème, à opération de génération non-composée, sans champ quantique* dénotée $me(prog.Is)_{Gnc-ch.q}$.
- La catégorie *générale des micro-états à champ quantique*, dénotée $me_{Gcomp-ch.q}$.

Cette catégorie générale contient :

* La sous-catégorie dénotée $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, des *microétats progressifs à opération de génération composée, à un seul microsystème, avec champ quantique*.

* La sous-catégorie dénotée $me(lié.Is)_{Gcomp-ch.q}$, des *microétats liés à opération de génération composée, à un seul microsystème, avec champ quantique*.

- Notons en outre la possibilité suivante, qu’il est important d’envisager a priori : Les *microétats progressifs à opération de génération non-composée mais à deux ou plusieurs microsystèmes*. Dénotons-la $me(prog.ns)_{Gnc}, n \geq 2$.

Cette catégorie pourraient comporter elle aussi des champs quantiques progressifs.

Cette possibilité notable sera examinée brièvement dans le dernier sous-chapitre de ce travail, en relation avec un commentaire supplémentaire du théorème de non-localité de

¹⁶⁴Cela force à penser que cette forme mathématique ‘ondulatoire’ est chargée de vertus calculatoires qui restent utiles même pour – exclusivement – des statistiques de nombres entièrement décollées de phénomènes ondulatoires au sens physique. Il serait intéressant d’explicitier comment, pourquoi, s’établit une telle utilité calculatoire indépendante de tout substrat ondulatoire au sens physique (parce que ‘ $a(x,t)$ ’ et ‘ $\varphi(x,t)$ ’ deviennent alors juste deux fonctions mutuellement indépendantes chargées par les algorithmes quantiques hilbertiens de certains rôles descriptionnels (calcul de coefficients d’expansion) qu’elle peuvent jouer, par construction, nonobstant leur indépendance ?).

Bell discuté dans la première partie (chapitre 3), revu à la lumière de *MQ2*.

7.2.5. Conclusion sur 7.2

Le concept de fonction d'onde $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$, tel qu'il a été jeté dans le courant de l'histoire de la physique et s'y est maintenu inchangé mathématiquement, pousse à des confusions, parce que, sous une forme mathématique unique, il cache un contenu de connaissances statistiques prévisionnelles qui s'entremêle avec un contenu physique individuel qui, lui, reste non-spécifié, et en outre varie d'un type de microétat à un autre. Il s'ensuit que, sous l'impulsion trompeuse qui émane de la notation unique employée, l'on cherche aveuglément une signification monolithique du concept de ket d'état, cependant qu'une telle signification simplement *n'existe pas*. Les conséquences de ce fait vont loin, elles entraînent la microphysique dans des fugues en plein domaine métaphysique¹⁶⁵.

Dans le cas des microétats à opération de génération composée, qui sont auto-interférents, la fonction d'onde $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ représente mathématiquement, *à la fois et de manière non distinguée mutuellement*, un phénomène physique qui agit physiquement, mais qui n'est pas explicité et singularisé, à savoir un exemplaire individuel et physique $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G , et d'autre part des statistiques prévisionnelles qui concernent ce même microétat, qui, elles, sont clairement définies, mais n'agissent pas physiquement. L'exemplaire $me_{G,exi}$ de microétat individuel, physique et actuel, que les aléas de l'histoire ont laissé dépourvu d'expression mathématique propre, squatte l'expression mathématique de la statistique prévisionnelle correspondante, et cela même pendant les actes de mesure, foncièrement individuels, physiques, actuels. Ainsi, subrepticement, la situation conceptuelle se dégrade jusqu'à devenir clairement absurde conceptuellement et fausse factuellement.

Tandis que pour les microétats qui ne comportent aucun champ quantique, la représentation via le postulat $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$, du modèle $me_{G,oc}$ – possible et nécessaire mais qui néanmoins est absente des formulations explicites de MQ_{HD} – se sépare foncièrement et radicalement du descripteur mathématique de fonction d'état $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$, dont la signification devient *purement* statistique : dans ce cas le modèle d'un exemplaire $me_{G,exi}$ de microétat individuel, physique et actuel, quitte la fonction d'état comme le corps quitte un habit qui peut le recouvrir. Et à la faveur de cette sorte de passage à limite, finalement il saute aux yeux que l'exemplaire $me_{G,exi}$ de microétat individuel, physique et actuel, qui agit lors d'un acte de mesure, est resté dans MQ_{HD} dépourvu d'une expression mathématique propre, cependant que, de façon cachée, il agit fortement dans la strate de conceptualisation individuelle des entités physiques et actuelles qui constituent l'objet-d'étude. Cette strate toute entière est restée muette dans la représentation de MQ_{HD} .

Cela attire l'attention sur le fait – évident mais perdu dans la vague – que :

Toujours les actes de mesure se placent sur le niveau de conceptualisation individuel, quelle que soit la catégorie des microétats considérée, ou le type de mesure, direct ou indirect.

Jamais un acte de mesure n'est 'produit' par un descripteur statistique : Ce fait dissout explicitement et en toute généralité la confusion abritée par la représentation MQ_{HD}

¹⁶⁵Cf. Ney and Albert [2013].

des mesures quantiques, celle mise en évidence et contredite dans 6.6.3.

Or dans l'élaboration d'une deuxième mécanique quantique amorcée ici, les exemplaires $me_{G,exi}$ physiques et individuels deviennent pensables et dicibles *indépendamment de la fonction d'état*. *IMQ* – qui désormais est incorporée a priori à *MQ2*, spécifie la source opérationnelle 'G' de ces exemplaires individuels du microétat étudié, cependant que le postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ leur assigne désormais une forme générale, que le postulat de codage par localisation spatiale $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ relie organiquement au concept mathématique de ket propre de la grandeur mesurée, i.e. à un espace Hilbert généralisé \mathcal{H} . Ceci permet d'introduire à la base même de *MQ2* une catégorisation explicite des microétats, et cela, d'emblée, clarifiera le rôle spécifique du descripteur mathématique correspondant de fonction d'onde employé.

Ces conclusions installent une avancée notable vers la perception claire de la situation physique et formelle qui sous-tend la recherche d'une représentation des processus de mesure quantique, qui puisse être généralement acceptable conceptuellement et généralement valide factuellement.

7.3. Deux éléments fondateurs pour la construction dans *MQ2* d'une théorie des mesures quantiques valide pour un microétat progressifs quelconque, sans ou avec champ quantique

7.3.1. Une assertion de consensus prévisionnel entre *IMQ*-*MQ2* concernant un microétat progressif quelconque

Dans *IMQ* les connaissances statistiques prévisionnelles déjà acquises concernant le microétat étudié me_G – considéré au moment initial t_0 de sa mise en existence via l'opération correspondante de génération G – sont contenues toutes dans le descripteur global $[(D_M^o(me_G) \equiv \{p^o(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^o(me_G)]$. Celui-ci est construit, non pas par des opérations mathématiques, mais via un très grand nombre N' d'une suite de N répétitions des successions d'opérations individuelles et physiques $[G.Mes(A)], \forall A \in V_M$.

Le méta-descripteur statistique $Mlp^o(me_G)$ est en principe impliqué par $D_M^o(me_G) \equiv \{p(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$: si la description de $D_M^o(me_G)$ est factuellement vraie alors celle de $Mlp^o(me_G)$ est également vraie factuellement, par construction.

Tout ce qui vient d'être rappelé pour $D_M^o(me_G)$ et $Mlp^o(me_G)$ tient aussi, par construction, pour la procédure définie dans 2.8 concernant des mesures sur me_G à un moment $t > t_0$, via des successions d'opérations $[G_t.Mes(A)], \forall A \in V_M$, avec $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ (où G et CE restent les mêmes), i.e. cela tient pour les résultats correspondants dénotés $D_M^t(me_G)$ et $Mlp^t(me_G)$ au lieu de, respectivement, $D_M^o(me_G)$ et $Mlp^o(me_G)$. Donc désormais, pour généralité, nous parlerons directement en termes de $[G_t.Mes(A)], \forall A \in V_M, D_M^t(me_G)$ et $Mlp^t(me_G)$, avec $t \geq t_0$.

La vérification des prévisions contenues dans le descripteur $D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$ s'accomplit tout simplement en répétant la procédure $[G_t.Mes(A)], \forall A \in V_M$, qui a conduit à établir ce descripteur. Car si en répétant cette procédure on n'obtient pas la même distribution (avec un ordre de grandeur de fluctuations statistiques admis à l'avance), alors cela veut dire que N , ou N' , ou les deux, n'ont pas été assez grands, ou que les conditions générales n'ont pas été dotées d'une stabilité suffisante. Et en ce cas l'on doit accroître N et N' , ou/et améliorer la stabilité des conditions globales, et recommencer jusqu'à ce que l'on constate une claire stabilité statistique. Ce n'est que lorsque

cette stabilité a été constatée que la procédure de construction du descripteur prévisionnel $D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$ est considérée comme close. Or en ces conditions :

Les prévisions affirmées par le descripteur $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M, Mlp^t(me_G)]$ de IMQ se vérifient *certainement*, par construction.

Dans MQ_{HD} il en va tout autrement. L'on y *admet* que les connaissances statistique-probabilistes prévisionnelles qui sont acquises concernant le microétat étudié, sont toutes contenues potentiellement dans le ket d'état dénoté ici $|\Psi_{G_t}\rangle$, associé à l'opération de génération $G_t = F(G, CE, \Delta t)$. Dès que $|\Psi_{G_t}\rangle$ a été déterminé, ces connaissances s'y trouvent piégées, d'une manière non-explicite mais qui est explicitable via des opérations – mathématiques – prescrites (décomposition spectrale et application du postulat de Born). Et tant que $|\Psi_{G_t}\rangle$ n'a pas encore été déterminé, on ne dispose d'aucune connaissance prévisionnelle.

Quant à la détermination de $|\Psi_{G_t}\rangle$, elle s'accomplit – directement et exclusivement – par des voies mathématiques ; à savoir, via l'écriture et la solution de l'équation Schrödinger 'du problème', associée à la donnée en termes mathématiques du ket d'état initial $|\Psi_G(t_0)\rangle$ ¹⁶⁶. Elle ne s'accomplit pas en effectuant un grand nombre d'opérations de mesure.

Dans MQ_{HD} les opérations physiques de mesure interviennent exclusivement *après* l'obtention, par voies mathématiques, du descripteur 'ket d'état' $|\Psi_{G_t}(t)\rangle$ de l'ensemble des statistiques prévisionnelles relatives au microétat me_{G_t} étudié. Leur rôle des opérations de mesure y est exclusivement de vérifier les prévisions factuelles que l'on peut expliciter de $|\Psi_{G_t}(t)\rangle$ par décompositions spectrales et l'application du postulat de Born.

Comment convient-il alors de concevoir les choses dans MQ_2 ?

Il est évident qu'un processus *factuel* de $Mes(A)$ donné – pourvu qu'ils soit applicable au type de microétat me_G considéré – peut toujours être conçu être strictement le même lorsqu'on le conçoit relativement à la *représentation* formelle qualitative des connaissances prévisionnelles statistiques construite dans IMQ et dénotée $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^t(me_G)]$, ou bien relativement à telle ou telle représentation de ces connaissances construites par des voies mathématiques – dénotons-la $Rép.Math(D_M^t(me_G))$. En particulier, $Rép.Math(D_M^t(me_G))$ peut s'identifier à un ket d'état $|\Psi\rangle$ de MQ_{HD} , mais en général nous ne la spécifions pas. Si l'on admet la représentation mathématique hilbertienne de MQ_{HD} , alors a_j de sera une valeur 'propre' de l'observable \mathbf{A} qui correspond à la grandeur A , mais en général elle aura quelque autre définition, différente de celle de MQ_{HD} .

Et répétons une fois de plus ce fait central que la définition factuelle de tout processus de $Mes(A)$ considéré, doit nécessairement indiquer une règle explicite pour coder tout groupe de marques physiques produites par une opération de $Mes(A)$, en termes d'une valeur a_j de la grandeur A et une seule, sinon ce n'est pas un processus de mesure utilisable.

¹⁶⁶Cette procédure est transposée des mathématiques construites dans la physique macroscopiques où l'observateur-concepteur est supposé pouvoir contrôler – et souvent même percevoir directement – les conditions extérieures et les différents paramètres qui interviennent.

Tout ceci étant posé, considérons un microétat me_G progressif quelconque, avec champs quantiques, ou sans champ quantique. Soient les connaissances prévisionnelles statistique-probabilistes concernant me_G et exprimées dans IMQ par le descripteur $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G_{a_j})\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^t(me_G)]$. Ces connaissances ont été établies à l'aide d'un ensemble donné, $\{Mes(A), \forall A\}$, de processus factuels de mesure. Soit d'autre part une représentation mathématique $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ des connaissances prévisionnelles statistiques-probabilistes concernant ce même microétat me_G , mais qui est d'abord établie par des opérations mathématiques.

Nous établirons l'assertion¹⁶⁷ *Ass.1* suivante :

Assertion *Ass.1*

La représentation $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ n'est acceptable que si sa *vérification* via $\{Mes(A), \forall A\}$ – quelle que soit la représentation mathématique des processus de vérification – reproduit le contenu factuel du descripteur $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G_{a_j})\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^t(me_G)]$ de IMQ .

Arg. *Ass.1* (Lire : Argument conduisant à *Ass.1*)

I. À un moment donné quelconque $t \geq t_0$, considérons d'abord seulement la description statistique-probabiliste $D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G_{a_j})\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$, définie dans 2.8, celle qui est placée sur le *premier* niveau statistique de l'arbre de probabilités du microétat me_G .

On vient de rappeler que dans IMQ les prévisions affirmées par le descripteur $D_M^t(me_G)$ se vérifient toutes *certainement*, par construction.

Ceci n'est pas le cas pour les prévisions statistiques affirmées par un descripteur $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ qui est établi d'abord de manière mathématique (notamment, ce n'est pas le cas pour les prévisions statistiques affirmées dans MQ_{HD} par le ket d'état $|\Psi_G(t)\rangle$ lié à me_G).

Focalisons l'attention sur la manière de *vérifier* factuellement les prévisions affirmées par le descripteur mathématique $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ via l'ensemble $\{Mes(A), \forall A\}$ de processus factuels de mesure.

Quelle que soit la représentation mathématique des processus de vérification, en conséquence de la définition générale des concepts de 'mesure' et de 'vérification de prévisions par des mesures', et de l'exigence d'applicabilité de ces définitions à un microétat, il *faudra* :

- Accomplir un grand nombre N' de répétitions d'une suite $[G_t.Mes(A)]_n, n = 1, 2, \dots, N$ d'un grand nombre N de réalisations physiques et individuelles d'une succession d'opérations $[G_t.Mes(A)]$ (avec $G_t = G$ ou $G_t = F(G, CE, \Delta t)$)¹⁶⁸.

¹⁶⁷Nous n'emploierons pas les mots 'théorème' et 'preuve' parce que nous ne sommes pas à l'intérieur d'un système formel déjà constitué où l'on puisse construire des preuves au sens strict du terme : nous parlerons en termes d'"assertions" et 'arguments'. Pourtant, au sens de la syllogistique naturelle, il s'agira bien de conclusions établies par des preuves.

¹⁶⁸Il est montré dans IMQ que ceci n'est pas contournable lorsqu'il s'agit d'un microétat progressif. En effet pour un microétat progressif, dans chacune des successions $[G_t.Mes(A)]_n, n = 1, 2, \dots, N$, doit en général intervenir au départ une opération G_t individuelle et physique de génération d'un nouvel exemplaire $me_{G_t,exi}$ individuel et physique du microétat étudié me_{G_t} , qui soit capable de produire des marques physiques ; car en général l'enregistrement d'un groupe de telles marques détruit l'exemplaire du microétat $me_{G_t,exi}$ qui a produit l'enregistrement. Cependant qu'il est obligatoire de répéter les enregistrements individuels d'un groupe de marques, si l'on veut pouvoir compter leurs traductions en termes de valeurs a_j de la grandeur mesurée A et établir si oui ou non la distribution $\{n(a_j)/N\}_n, n = 1, 2, \dots, N$ de leurs fréquences relatives vérifie les prévisions statistiques de $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ avec une stabilité satisfaisante.

- Dénombrer les occurrences de chaque groupe donné possible de marques physiques observables¹⁶⁹.

- Traduire chaque tel groupe donné de marques observables, en termes d'une valeurs a_j de A et une seule, via la règle explicite de codage $Cod(G, A)$ (2.3.2.3) qui – par hypothèse – est définie.

- Construire la structure statistique globale $\{n(a_j)/N\}_{n, n=1,2,\dots,N}$, de fréquences relatives $n(a_j)/N$, dans chaque suite de N réalisations $[G_t.Mes(A)]_n, n=1,2,\dots,N$, de la succession d'opérations $[G_t.Mes(A)]$ considérée.

- Établir la 'suffisante' *stabilité* de la structure statistique globale $\{n(a_j)/N\}_{n, n=1,2,\dots,N}$, constatée, en réalisant N' variantes d'une d'une suite $[G_t.Mes(A)]_n, n=1,2,\dots,N$, avec N et N' très grands¹⁷⁰.

Or la procédure détaillée plus haut est exactement la même que celle employée afin de vérifier les prévisions affirmées par le descripteur statistique $D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G_t, a_j)\}$, $j=1,2,\dots,J, \forall A \in V_M$ de IMQ , et ces dernières prévisions se vérifient *certainement* par construction. Donc *si les prévisions calculées selon $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ étaient différentes de celles tirées du descripteur $D_M^t(me_G)$ avec $t \geq t_0$, de IMQ , alors elles ne se vérifieraient pas.*

Ainsi l'assertion *Ass.1* est démontrée en ce qui concerne la vérification des prévisions tirées, respectivement, de $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ et de $D_M^t(me_G)$.

2. Considérons maintenant la composante $Mlp^t(me_G) \equiv \{p(Bk) = \mathbf{F}_{AB}\{p^t(G_t, a_j)\}\}$, $\forall (A, B) \in V_M$ de la description statistique globale de IMQ , $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j=1,2,\dots,J, Mlp^t(me_G), \forall A \in V_M)]$, i.e. celle qui se trouve sur le deuxième niveau statistique de l'arbre de probabilité du microétat étudié. Cette composante relie toutes deux lois statistiques-probabilistes $\{p^t(G, a_j)\}, j=1,2,\dots,J$ et $\{p^t(G, b_k)\}, k=1,2,\dots,K$ qui concernent le microétat étudié me_G pour une paire de grandeurs (A, B) de deux grandeurs mécaniques.

La représentation $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ considérée peut elle aussi conduire à de telles méta-relations statistiques. (Notamment, dans MQ_{HD} le ket d'état $|\Psi_G(t)\rangle$ associé au microétat étudié me_G permet en effet de telles relations, à savoir via la théorie des transformations de Dirac).

Or, en conséquence de la conclusion du point 1, *tout* méta-effet statistique observable impliqué par $Rep.Math(D_M^t(me_G))$, s'il est factuellement vrai, doit être posé a priori être compatible avec les contenus observables du descripteur $Mlp^t(me_G)$ de IMQ (nonobstant le fait que ces derniers ne soient pas spécifiés numériquement dans IMQ)¹⁷¹. Car ces contenus observables de $Mlp^t(me_G)$ sont définis dans IMQ comme découlant des contenus du descripteur $D_M^t(me_G)$, qui sont factuellement vrais par construction.

Les arguments des points 1 et 2 ci-dessus établissent entièrement *Ass.1*. ■

Étant données les différences profondes permises a priori entre l'approche de IMQ et une représentation mathématique $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ (notamment celle de MQ_{HD})

¹⁶⁹En conséquence du choix d'effectivité spécifié dans 6.1 le nombre de ces groupes est fini.

¹⁷⁰La formulation de telles évidences peut étonner. Mais on change d'attitude lorsqu'on repense aux ambiguïtés invraisemblables comportées par le concept-clé de la 'théorie quantique des mesures', d'« évolution Schrödinger de mesure » du 'ket d'état' ».

¹⁷¹Dans MQ_{HD} l'on n'assigne pas aux transformations de Dirac une signification explicitement probabiliste, comme c'est le cas dans IMQ pour le descripteur $Mlp(me_G)$. Pourtant l'existence d'une telle signification découle du fait que ces transformations concernent les coefficients d'expansion de $|\Psi_G(t)\rangle$ selon les fonctions propres des bases de fonctions propres mises en jeu. Ce point sera développé plus loin.

l'assertion *Ass.1* est loin d'être triviale.

Cette assertion constitue désormais un solide élément d'appui pour développer la construction d'une deuxième mécanique quantique, *MQ2*.

7.3.2. *Un but concernant la représentation mathématique dans MQ2 des microétats progressifs quelconques*

Revenons un instant dans *MQ_{HD}*, pour afin de fixer un point de départ. Dans *MQ_{HD}* le symbole $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ défini dans *Ass.1* s'identifie au ket d'état $|\Psi_G(t)\rangle$ associé au microétat me_G que l'on veut étudier. Or la manière *MQ_{HD}* d'établir la représentation mathématique par $|\Psi_G(t)\rangle$ du descripteur $D_M^t(me_G)$ de *IMQ*, n'est qu'un beau compte de fées. Elle est entachée d'un optimisme irréaliste. Réduire le domaine d'applicabilité de la mécanique quantique, aux cas qui *permettent* : [la définition d'une équation d'évolution ; sa solution ; la *donnée* directe – en termes mathématiques – des conditions aux limites qui déterminent le ket d'état initial, ainsi que de ce ket initial lui-même] serait une limitation a priori proprement *énorme* de la définibilité du concept de ket d'état¹⁷². Une telle limitation – en dépit de l'existence d'ordinateurs et l'emploi d'approximations idéalisantes – équivaut à une amputation massive de la capacité de représentation de la théorie des microétats. Par exemple, imaginons qu'une source d'électrons est placée devant une grille rugueuse et irrégulière et que, pour quelque raison, on veut étudier le microétat d'électron qui se crée au delà de cette grille, dans une région où règne un champ électromagnétique non-hamiltonien¹⁷³.

En outre, dans *MQ_{HD}* les catégories de microétats définies dans 7.3.1, ne sont pas distinguées l'une de l'autre. Cette indistinction a dû sans aucun doute conduire à certaines uniformités de traitement qui, de points de vues difficiles à imaginer à l'avance, cachent des inadéquations dont certaines pourraient être graves.

Pour ces raisons il paraît prudent d'entreprendre la construction de *MQ2* d'une façon qui permette de surveiller au fur et à mesure l'introduction de descripteurs mathématiques $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ véritablement adéquats de toute une variété de points de vue¹⁷⁴.

D'autre part, l'assertion *Ass.1* met fortement en évidence la relation profonde, organique, que l'on peut établir, concernant un microétat progressif, entre les opérations nécessairement individuelles et physiques qui construisent l'outil de *prévisions* statistiques, et d'autre part les opérations nécessairement individuelles et physiques qui *vérifient* les prévisions contenues dans cet outil : ces deux sortes d'opérations, foncièrement, autant dans *IMQ* que dans *MQ_{HD}*, sont à poser comme étant *symétriques* face au descripteur des prévisions statistique, *identiques pour construire le descripteur prévisionnel, et pour vérifier les prévisions qu'il contient une fois qu'il a été construit*.

De ces remarques émerge un but concernant la représentation des microétats dénotée a priori *MQ2* que nous voulons construire.

Considérons le rôle tenu dans *Arg(Ass.1)* par le symbole $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ d'un descripteur dont la genèse est posée être purement mathématique, comme c'est le cas dans

¹⁷²Que l'on n'oublie pas que pas toute situation micrphysique est hamiltonienne ; et lorsqu'elle est, l'équation Schrödinger correspondante n'est pas nécessairement soluble ; et si elle a été résolue, les conditions aux limites peuvent être dépourvues de toute régularité permettant de 'donner' le ket d'état initial.

¹⁷³Les travaux de Svozil and Tkadlec [1996], Svozil [2014, 2012] introduisent à un clair changement de tonalité : c'est de l'ironie qui s'y met à éclore.

¹⁷⁴Comme un poète cherche le mot qui lui semble convenir à telle *place* de son poème, investie par *tel* contexte.

MQ_{HD} pour les fonctions d'état de la mécanique ondulatoire initiale, et pour les ket d'état de la formulation Hilbert-Dirac de la mécanique quantique actuelle. Il serait très utile de réussir ce qui suit :

À l'intérieur de MQ_2 , doter chaque descripteur du type 'fonction d'état' ou 'ket d'état', de – aussi – *une définition par construction factuelle-formelle*, parallèle à l'éventuelle possibilité d'une définition à genèse purement abstraite, d'emblée exclusivement conceptuelle-mathématique.

Une telle construction pourrait s'accomplir en *tissant l'une à l'autre*, d'une part une représentation des processus factuels symbolisés par les successions de mesure $[G.Mes(A)]_n, n = 1, 2, \dots, N, \forall A$, qui, dans IMQ , constituent la genèse du descripteur $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G_{a_j})\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp^t(me_G)]$, et d'autre part une représentation mathématique des connaissances contenues dans $D_M^t(me_G)$ par, soit le ket d'état correspondant $|\Psi_G(t)\rangle$ de MQ_{HD} , soit plus généralement par la seule fonction d'état de ce ket (ce qui peut *libérer* des contraintes d'un espace de représentation de Hilbert, si nécessaire).

Cela, si c'était réalisé, *enracinerait* la nouvelle représentation des microétats de MQ_2 , dans la structuration factuelle-conceptuelle-opérationnelle de IMQ , qui, elle, est sémantiquement explicite, et pourvue de généralité par construction.

L'usage préliminaire qui a été fait de IMQ dans le chapitre 6, via seulement des comparaisons 'horizontales' entre deux structures encore extérieures l'une à l'autre, a été surtout critique. Il a laissé le formalisme de la mécanique quantique actuelle réduit, pour combler les lacunes que nous y avons identifiées, à des moyens d'autoépuration, non-définis. Cependant que l'enracinement suggéré constituerait une réutilisation 'verticale' de IMQ qui dicterait des moyens appropriés, via une utilisation *directe* et résolument constructive de son entière structure et *substance*. La possibilité d'un tel enracinement devrait être assurée par le fait que IMQ a été d'emblée conçue comme placée 'en dessous' du formalisme mathématique de MQDH, comme étant fondationnelle face à ce formalisme. Et elle entraînerait une certaine *indépendance* des représentations mathématiques construites par voie factuelle-formelle, face à la possibilité, ou non, de les obtenir également par une voie purement calculatoire.

Enfin, un tel enracinement factuel pourrait se construire en laissant au départ délibérément *ouvert* le choix, pour chaque catégorie donnée de microétats, de la représentation mathématique $Rep.Math(D_M^t(me_G))$ la plus adéquate. Cette représentation émergerait alors comme un effet de contraintes beaucoup plus fondamentales qu'une simple comparaison entre IMQ et MQ_{HD} .

Dans ce qui suit nous poursuivrons le but qui vient d'être spécifié.

7.4. Construction factuelle-formelle dans MQ_2 d'une théorie des mesures quantiques valide pour un microétat progressif et sans champ quantique

Le sous-chapitre qui suit est particulièrement important. Il est réservé à l'élaboration dans MQ_2 d'une représentation acceptable des mesures quantiques pour la catégorie des microétats progressifs et *sans* champ quantique. Cette élaboration s'avérera possible, et son résultat constituera une référence très utile pour le traitement des autres catégories de microétats.

7.4.1. Conservation du théorème de Gleason

Le théorème de Gleason [1957] (reconsidéré par Pitowsky [2006] (en relation spécifique avec ce qu'on appelle 'la logique quantique') établit ce qui – dans le contexte du travail présent – se ramène en essence à ce qui suit :

Soit me_G le microétat physique et individuel à étudier. Soit $|\psi_G\rangle$ le ket d'état qui, selon MQ_{HD} , représente mathématiquement les connaissances statistiques prévisionnelles concernant me_G .

Dans MQ_{HD} l'espace de représentation des descriptions mathématiques est l'espace Hilbert généralisé \mathcal{E} (cf. 4).

Admettons que l'espace \mathcal{E} possède une dimension égale à 3 ou plus grande.

Dénotons par $\{(\psi_G, a_j)\}^{175}$, $j = 1, 2, \dots, J^{176}$, l'ensemble des événements qui consistent en l'obtention d'une valeur propre a_j de l'observable \mathbf{A} lorsqu'on effectue une mesure de \mathbf{A} sur le microétat me_G représenté par le ket d'état $|\psi_G\rangle$.

Admettons que cet ensemble *peut* être inséré dans un espace de probabilité de Kolmogorov, en tant qu'univers des événements élémentaires (i.e. qu'on *peut* lui associer de quelque manière un concept de 'loi de probabilité' $\{p(\psi_G, a_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, J$ qui satisfasse à tous les traits de la définition mathématique de ce concept (convergence, normabilité, etc.).

En ces conditions, le théorème de Gleason affirme que la *représentabilité* mathématique dans l'espace \mathcal{E} , de la probabilité $p(\psi_G, a_j)$ de l'événement (ψ_G, a_j) , est nécessairement soumise à l'identité de *forme mathématique*

$$p(\psi_G, a_j) \equiv_{Gl} |Pr.j|\psi_G\rangle|^2, j = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

où $|\psi_G\rangle$ est un ket d'état quelconque et $Pr.j|\psi_G\rangle$ désigne la projection de $|\psi_G\rangle$ sur le ket de base $|u_j\rangle$ associé à la valeur propre a_j de \mathbf{A} (le symbole ' \equiv_{Gl} ' se lit 'identique selon Gleason').

Voilà l'essence du théorème de Gleason, telle qu'elle est pertinente dans le contexte de ce travail.

Comparons cet énoncé au postulat de probabilité de Born. Puisque le postulat de Born pose que

$$p(\psi_G, a_j) = [|Pr.j|\psi_G\rangle|^2 \equiv |c_j|^2]. \quad (7')$$

On voit que le théorème de Gleason affirme la même *forme mathématique* qui est affirmée aussi par le postulat de probabilité de Born¹⁷⁷. Mais – contrairement au théorème de Gleason – le postulat de Born *présuppose* que :

- Effectivement il existe une loi de probabilité $\{p(\psi_G, a_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, J$.
- Le ket d'état $|\psi_G\rangle$ est *connu*.

¹⁷⁵Nous conservons ici pour un instant les notations utilisées que les logiciens, car c'est par eux que le théorème de Gleason a été porté dans l'attention des physiciens. Mais plus tard nous écrirons, comme il est usuel, $p(t, a_j) = |c(t, a_j)|^2$, etc.

¹⁷⁶Avec J fini en conséquence de notre choix d'effectivité de 6.1.

¹⁷⁷La projection de $|\psi_G\rangle$ sur le ket de base $|u_j\rangle$ étant par définition le coefficient du terme d'indice j dans l'expansion de $|\psi_G\rangle$ selon les éléments de la base $\{|u_j\rangle\}$ introduite par l'observable \mathbf{A} dans l'espace \mathcal{E} .

- Par conséquent l'expression $|Pr.j|\psi_G\rangle|^2 \equiv |c_j|^2$ définit numériquement la probabilité individuelle $p(\psi_G, a_j)$.

L'accent tombe alors sur la valeur numérique de l'expression (7') dans le cas précisé d'un ket d'état donné.

Il est donc finalement apparu en 1957 que *la forme* de la représentation mathématique des probabilités prévisionnelles postulée par Born bien avant 1957, est *imposée* si l'on choisit un espace de Hilbert en tant qu'espace de représentation des connaissances prévisionnelles qui concernent des microétats.

Or soulignons bien que :

- Le choix d'un espace de Hilbert afin d'y représenter les connaissances prévisionnelles concernant des microétats, n'est pas une loi physique, comme la constatation du fait qu'il existe une gravitation universelle ; ce n'est qu'un geste descriptionnel qui exprime une croyance en une pertinence descriptionnelle.

- Le théorème de Gleason ne dit strictement *rien*, ni concernant l'existence, ou non, d'une loi de probabilité $\{p(\psi_G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$, ni, si cette loi existe, concernant son contenu numérique.

Autrement dit : Le théorème de Gleason n'a pas le statut d'une assertion de faits, il a le statut d'une implication logique : **Si** les circonstances physiques considérées sont statistiques et suffisamment stables pour que l'on puisse *poser* l'existence d'une loi de probabilité, et **si** – en outre – cette loi s'avère *représentable* par un ket d'un espace de Hilbert généralisé \mathcal{E} , d'une manière consistante avec les autres circonstances conceptuelles et factuelles qui interviennent, **alors** la représentation dans \mathcal{E} de cette loi de probabilité, possède nécessairement la forme mathématique (7).

Notons maintenant que la représentation Hilbert du ket d'état est effectivement adéquate dans le cas d'un microétat $me(prog.Is)_{Gnceh.q}$ l'utilisation d'un espace Hilbert de représentation, dans le sens précis suivant : Elle est compatible avec le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$; cependant que ce postulat est fondé sur l'hypothèse que, au bout du processus physique symbolisé par une succession de mesure $[G.Mes(\mathbf{A})]$ donnée, l'exemplaire individuel $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G qui intervient acquiert un état représentable par une fonction d'onde $u_j(x)$ d'un ket propre $|u_j(x)\rangle$ de la base introduite dans l'espace Hilbert de représentation, par l'observable quantique \mathbf{A} mesurée, et en outre comporte une probabilité de présence sensiblement non-nulle seulement dans une région de l'espace physique qui peut être rendue *spécifique* d'une valeur propre a_j de \mathbf{A} (6.6.3.2, 6.6.3.3).

Pour ces raisons, dans *MQ2* nous conservons les espaces Hilbert en tant qu'espaces de représentation mathématique adéquats tout autant pour les descriptions mathématiques des processus de mesure accomplis sur des microétats $me(prog.Is)_{Gnceh.q}$, que pour les résultats de ces processus. Corrélativement nous conservons le concept d'observable quantique et de valeurs et ket propres de celle-ci.

A fortiori, lorsqu'il s'agit de microétats $me(prog.Is)_{Gnceh.q}$ nous conservons également le droit de recours au théorème de Gleason.

7.4.2. *Symbolisations préliminaires à la construction factuelle-formelle de ket d'états*

Effet d'une opération de génération G . Dans *IMQ*, afin d'assurer à la démarche une généralité maximale, nous nous sommes interdit tout modèle. Mais la mécanique quantique ne se trouve pas sur le niveau de généralité maximale, car c'est une 'mécanique' et donc

elle doit se munir d'une théorie des mesures de grandeurs 'mécaniques', ce qui exige des règles de codage appropriées à ce but particularisant.

D'autre part MQ_{HD} implique le modèle 'onde corpusculaire' qu'elle ne formalise pas, et c'est l'une des lacunes de cette représentation des microétats.

Mais dans MQ_2 le modèle que Louis de Broglie a posé d'une manière idéale, purement conceptuelle, a été complété en relation explicite avec l'opération de génération G de IMQ , qui l'introduit dans le domaine de l'observable et d'une conceptualisation communicable et consensuelle (cf. 6.2.3 les points (a)-(c)). Afin de favoriser une compréhension intuitive des constructions factuelles-formelles qui suivent, nous rappelons ici très explicitement les traits de cette mise en relation dans le cas, spécifiquement, d'un micro-état d'un seul micro-systèmes.

Les raisonnements de 6.6.3 descendaient du niveau statistique de conceptualisation, abstrait, vers le niveau individuel et factuel. Ici nous partons en sens inverse. Par la réalisation d'une opération de génération non-composée G , nous commençons explicitement à un zéro local absolu de conceptualisation accomplie précédemment, et de là nous 'montons' dans le volume du conceptualisé, vers de l'abstrait. L'opération G , lors de chacune de ses réalisations, introduit un exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G . Selon le modèle $me_{G,oc}$ introduit par le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$, tout exemplaire individuel et physique $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G est intégré à un phénomène ondulatoire à étendue inconnue et possiblement *illimitée*, dont l'amplitude comporte des singularités à caractères corpusculaires qui admettent des qualifications par des grandeurs mécaniques A . L'opération de génération G de ce qu'on appelle 'un microétat de un micro-système', produit un exemplaire individuel $me_{G,exi}$ d'un tel microétat me_G , en ce sens qu'elle capture *une* parmi les singularités à caractères corpusculaires de l'amplitude (avec son voisinage) du phénomène ondulatoire lie à au microétat. Via la répétabilité indéfinie de l'opération de génération G considérée, le microétat correspondant me_G est rendu disponible pour produire des manifestations 'mécaniques' observables, liées à des actes de mesure qui mettent en jeu les aspects 'corpusculaires' de la singularité dans l'amplitude du phénomène ondulatoire comporté par le microétat me_G .

Dans MQ_2 les opérations de génération G ne seront pas encore représentées mathématiquement. Pour l'instant ces opérations seront seulement symbolisées, comme dans IMQ ¹⁷⁸.

Acte de mesure codant. Le cumul des clarifications successives précédentes a finalement révélé que ce qui en fait, dans MQ_{DH} , est impliqué dans la corrélation codante $PMBGB$, est une suite d'un très grand nombre de répétitions de la succession d'opérations individuelles et physiques $[G.Mes(A)]$ au sens de IMQ , mais où l'existence de l'opération G reste non-explicitée parce qu'elle échappe à la conceptualisation statistique de MQ_{HD} . Par contre, une ' $Mes(A)$ ' admet d'ores et déjà dans MQ_2 une symbolisation qui inclut un certain début de mathématisation :

Soit un acte de mesure – codant – d'une observable \mathbf{A} . Nous l'associons d'emblée au postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ en la dénotant désormais ' $Mes_c(\mathbf{A})$ ' (lire : acte de mesure codante de \mathbf{A}). Puisque l'exemplaire $me_{G,exi}$ impliqué dans cet acte de mesure est conçu comme une portion d'un phénomène ondulatoire, il est possible de lui associer une

¹⁷⁸À terme, lorsque l'entière strate de conceptualisation individuelle des microétats qui a été mise en évidence dans IMQ aura été intégrée à MQ_2 – et si, en outre, l'on aura pu spécifier une algèbre qui caractérise convenablement les opérations de génération G – l'on pourra vraisemblablement représenter les opérations G par des opérateurs (non-linéaires ?) qui agissent sur des fonctions mathématiques représentant des entités physiques tirées du milieu sub-quantique. Mais ici la question d'une telle formalisation mathématique est prématurée.

‘fonction d’onde’, comme on le fait dans la mécanique ondulatoire et dans MQ_{HD} . Mais dans MQ_2 cette fonction d’onde sera utilisée exclusivement pour indiquer le fragment individuel et physique dénoté ‘ $me_{G,exi}$ ’ du phénomène ondulatoire dénommé ‘un microétat me_G ’ qui a été ‘produit’ en tant qu’un objet-d’étude future par une réalisation de l’opération de génération G correspondante : nous ne relions cette fonction d’onde à aucune qualification statistique de la connaissance produite par des actes de $Mes_c(\mathbf{A})$ individuels. Afin de souligner ce fait, la fonction d’onde associée à $me_{G,exi}$ sera désignée par le symbole $a(x,t)e^{i\phi(x,t)}(me_{G,exi})$. Conformément au choix d’effectivité de 6.1 l’étendue d’espace-temps assignée à $me_{G,exi}$ est finie en conséquence d’une définition préalable d’un domaine fini d’exploration.

Dans 6.6.3.2 le descripteur ‘individuel’

$$|\Psi_{G,\mathbf{H}(\mathbf{A})}((1me_{G,exi}), t > t_1)\rangle \equiv e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle \quad (6')$$

a d’abord été obtenu par une particularisation du descripteur statistique $|\Psi_{G,\mathbf{H}(\mathbf{A})}(t > t_1)\rangle$ de MQ_{HD} . Par la suite seulement cette particularisation a été identifiée comme étant en fait peut être reliée à un exemplaire individuel $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G , dont la dynamique de la singularité a été rendue qualifiable par une valeur propre a_j d’une observable \mathbf{A} qui commute avec le hamiltonien $\mathbf{H}(\mathbf{A})$. En ce sens dans 6.6.3.2 l’on s’est avancé du statistique vers l’individuel. Cependant qu’ici nous commençons au niveau individuel, par considérer une réalisation individuelle d’une opération de génération G qui engendre l’exemplaire individuel $me_{G,exi}$ considéré, encore entièrement inconnu. Or il n’y a aucune raison pour assigner *d’emblée* à la fonction d’onde correspondante $a(x,t)e^{i\phi(x,t)}(me_{G,exi})$, la forme mathématique $e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle$ qui figure dans le premier membre de (6’). Par contre, les raisonnements de 6.6.3 qui – en absence de champ quantique – ont entraîné la confirmation de la corrélation $PMBGB$ et l’introduction du postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$, conduisent à poser que l’opération de $Mes_c(\mathbf{A})$ doit :

- s’accomplir sous l’action d’un hamiltonien $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ qui commute avec l’observable $\mathbf{A}(A)$;
- qu’elle doit conduire l’entité dénotée a priori ‘ $me_{G,exi}$ ’, à acquérir une forme représentable mathématiquement par un ket propre bien défini $e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle$ de \mathbf{A} , avant l’enregistrement de présence qui code pour la valeur propre a_j de \mathbf{A} qui correspond à ce ket propre $|u_j(x, a_j)\rangle$.

Donc à l’intérieur de MQ_2 l’on peut d’ores et déjà symboliser tout cela in extenso, en dénotant, par exemple :

$$Mes_c(\mathbf{A})[me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)})] \rightarrow_{\mathbf{H}(\mathbf{A})} me_{G,exi}(e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle) \quad (8)$$

où : $me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)})$ est à lire ‘un exemplaire individuel $me_{G,exi}$ du microétat me_G dont l’état initial peut être représenté par une fonction d’état individuelle inconnue $a(x,t)e^{i\phi(x,t)}$ ’, et $me_{G,exi}(e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle)$ est à lire ‘l’exemplaire individuel $me_{G,exi}$ du microétat me_G dont le nouvel état admet une représentation par une fonction propre $e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle$ ’ de l’observable mesurée \mathbf{A} . (En d’autres termes : l’évolution de mesure codante $Mes_c(\mathbf{A})$ imposée par $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ à l’exemplaire individuel $me_{G,exi}$ produit par une réalisation de G , transforme l’état initial de $me_{G,exi}$ représenté par une fonction d’onde individuelle inconnue $a(x,t)e^{i\phi(x,t)}$, en un état représenté par une fonction d’onde qui intervient dans l’un des ket propres $|u_j(x, a_j)\rangle$ de \mathbf{A} dont l’indice j indique, via un codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$, la valeur propre a_j de \mathbf{A} identifiée).

En raccourci, l'évolution (8) sera indiquée en écrivant seulement $Mes_c(\mathbf{A})$.

Succession de mesure codante $[G.Mes_c(\mathbf{A})]$. Le concept d'une succession d'opérations $[G.Mes_c(\mathbf{A})]$ au sens de IMQ acquiert donc dans $MQ2$ une structure qui, si l'on veut être très explicite, peut alors être symbolisée in extenso par :

$$[(G \rightarrow me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)}).Mes_c(\mathbf{A})(me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)})) \rightarrow_{\mathbf{H}(\mathbf{A})} me_{G,exi}(e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle)] \quad (9)$$

En raccourci l'on peut écrire

$$[(G_t \rightarrow me_{G_t,exi}).Mes_c(\mathbf{A})(me_{G_t,exi})] \rightarrow_{\mathbf{H}(\mathbf{A})} e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle (me_{G_t,exi})$$

ou bien seulement $[G.Mes_c(\mathbf{A})]$.

Bref, à l'intérieur de $MQ2$ la transcription (9) du concept IMQ d'une succession d'opérations $[G.Mes_c(\mathbf{A})]$ établit une relation claire entre l'effet de G et celui de $Mes(\mathbf{A})$, qui est explicitement fondée sur le modèle général $me_{G,oc}$ d'un exemplaire individuel et physique $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G et implique une règle de codage définie.

Le concept (9) remplace le concept d' 'évolution Schrödinger de mesure' de MQ_{HD} qui dans 6.6.3 a été trouvé être radicalement inacceptable et a dû être éliminé.

7.4.3. Construction factuelle-formelle du ket d'état d'un microétat libre sans champ quantique

Soit un microétat $me(\text{prog. } Is)_{G_n, \text{ceh. } q}$. Soit $G_t = F(G, CE, t)$ une opération de génération de IMQ liée à G au sens défini dans (2.8), mais où l'on a re-noté $\Delta t = t$ et relativement l'on pose $t \geq t_0$. L'opération G_t , par définition, engendre un microétat me_{G_t} . Considérons le ket d'état $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ – inconnu – que dans MQ_{HD} l'on associerait au microétat me_{G_t} , par voie conceptuelle-mathématique, à l'aide d'une équation d'évolution de Schrödinger et d'un ket d'état initial $|\psi_{G,HD}(t_0)\rangle$, les prévisions impliquées par $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ devant être calculées à l'aide du postulat de Born. Nous faisons l'assertion *Ass.2* suivante :

Assertion *Ass.2*

(a) Dans $MQ2$ le ket d'état le ket d'état $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ peut être construit dans l'espace Hilbert de représentation, par une procédure factuelle-formelle.

(b) Cette procédure fait usage exclusivement de la représentation (9) et du théorème de Gleason, le postulat de Born n'intervient pas.

Arg(*Ass.2*) :

(a). Selon l'assertion *Ass.1*, si l'on admet que les prévisions affirmées concernant le microétat me_{G_t} par le ket d'état $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ se vérifient, alors ces prévisions doivent nécessairement s'identifier aux distributions de probabilités $\{p^t(G, a_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$ qui, dans IMQ , sont construites factuellement et y sont exprimées par la description globale dénotée $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), \forall t Mlp(me_G)]^{179}$. Donc selon le théorème de Gleason (7) et *Ass.1* on doit avoir pour les expressions des lois de probabilité au moment t , les identités¹⁸⁰ :

$$\{p[|\psi_{G,HD}(t)\rangle, a_j]\} \equiv_{GI} \{|c_j(t)|^2\} \equiv_{Ass.1} \{p^t(Gt, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A, \forall t \quad (10)$$

¹⁷⁹La relation entre $D_M^t(me_G)$ et $|\psi_G(t)\rangle_{MQ_{HD}}$ est assurée par l'opération de génération commune de départ, G , et par les conditions extérieures CE posées être communes.

¹⁸⁰Où j conforme au choix d'effectivité introduit dans 6.1 (cf. la note correspondante).

(où : $\{p[|\Psi_{G,HD}(t)\rangle, a_j]\}$ désigne l'entière loi de probabilité prévisionnelle qui, dans MQ_{HD} , est assignée par le ket d'état $|\Psi_{G,HD}(t)\rangle$ aux valeurs propres a_j de \mathbf{A} manifestées par le microétat étudié me_{Gt} ; le signe ' \equiv_{Gl} ' se lit 'identique selon Gleason' ; $\{|c_j(t)|^2\}$ est l'ensemble des projections de $|\Psi_{G,HD}(t)\rangle$ sur les kets propres de la base $\{|u_j(x)\rangle\}$ introduite dans \mathcal{E} par l'observable \mathbf{A} ; le signe ' $\equiv_{Ass.I}$ ' se lit 'identique selon Ass.I' ; $\{p^t(Gt, a_j)\}$ est la loi de probabilité assignée par le descripteur statistique $D_M^t(me_G)$ de IMQ aux valeurs propres a_j de \mathbf{A} manifestées factuellement par des actes de mesure codante $Mes_c(\mathbf{A})$ (8) accomplis sur me_{Gt}).

Le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ étant valide dans les conditions considérées, la loi de probabilité de (10) peut être établie par construction 'factuelle-formelle', pour toute paire $(|\Psi_{G,HD}(t)\rangle, \mathbf{A})$, de la manière suivante :

– L'on établit d'abord factuellement, pour le microétat $me_{Gt} \leftrightarrow G_t$ que l'on veut étudier, les lois de probabilité $\{p^t(Gt, a_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$, à l'intérieur de IMQ , mais en appliquant le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ ¹⁸¹ de $MQ2$. Cela peut s'accomplir pour chaque grandeur dynamique A séparément, via un très grand nombre N' de répétitions d'une suite très longue d'opérations $[G_t.Mes_c(\mathbf{A})]_n, n = 1, 2, \dots, N$.

Ceci épuise la phase *factuelle* de la construction.

– Tour à tour pour chaque observable dynamique $\mathbf{A}(A)$ de MQ_{HD} l'on écrit la décomposition spectrale relative à cette observable \mathbf{A} , du ket d'état $|\Psi_{G,HD}(t)\rangle$, que nous dénotons $|\Psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{A}$:

$$|\Psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{A} = \sum_j e^{i\alpha(j)} |c_j(t, \mathbf{A})| |u_j(x, a_j)\rangle, j = 1, 2, \dots, J, \forall t \quad (11)$$

où les coefficients complexes d'expansion sont écrits sous la forme explicite

$$c_j(t, A) = e^{i\alpha(j)} |c_j(t, A)| \quad (12)$$

d'un produit d'un facteur réel $|c_j(t, A)|$ non-spécifié, avec un facteur complexe $e^{i\alpha(j)}$ à phase également non-spécifiée. Mais l'on suppose que les coefficients d'expansion $c_j(t, \mathbf{A})$ de (11) et (12) ne sont pas calculés via les algorithmes de MQ_{HD} , ils y figurent dans (11) comme des réceptacles formels encore vides.

– L'on pose maintenant – en accord avec (10) – que la valeur numérique du facteur réel inconnu $|c_j(t, \mathbf{A})|$ de (11) et (12), pour une valeur donnée de l'indice j , est celle définie via la loi de probabilité numérique $\{p^t(G, a_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M$ construite factuellement selon IMQ mais en utilisant en outre $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$:

$$|c_j(t, A)|^2 \equiv_{Ass.I} p^t(G, a_j), \forall j \text{ fixé}, \forall t \quad (13)$$

– L'on réitère ce même procédé pour les décompositions spectrales du ket d'état inconnu $|\Psi_{G,HD}(t)\rangle$, relativement à toutes les autres observables dynamiques \mathbf{A} définies pour un

¹⁸¹Dont on ne disposait pas dans IMQ .

microétat (en écrivant : $|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{B}, |\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{C} \rangle$, etc.)¹⁸².

Ceci tranche dans *MQ2* la question des valeurs numériques absolues des projections de $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ sur la base définie dans \mathcal{E} par une observable dynamique \mathbf{A} quelconque.

– Qu'en est-il maintenant des facteurs complexes $e^{i\alpha(j)}$ qui interviennent dans une expansion de la forme générale (11)? A cette question on peut répondre en insérant le lemme suivant *L(A2)* établi à l'intérieur de *MQHD*, de façon strictement formelle.

L(Ass.2) : Les facteurs complexes $e^{i\alpha(j)}$ de l'expansion (11) $|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{A}$ étant posés de manière arbitraire pour une observable donnée \mathbf{A} , la théorie des transformations de Dirac permet de déterminer d'une manière *consistante* avec ces choix arbitraires, les facteurs complexes qui interviennent dans la décomposition spectrale de $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ sur la base introduite par toute autre observable dynamique \mathbf{B} , avec $[\mathbf{A}, \mathbf{B}] \neq 0$ qui ne commute pas avec \mathbf{A} .

Preuve de L(Ass.2) Soit l'ensemble $\{e^{i\alpha(j)}\}$ des facteurs de phase complexes introduits dans (11) par des choix arbitraires, pour l'observable \mathbf{A} quelconque. Le caractère arbitraire de ces choix de départ ne s'oppose en rien à l'assertion de (13) des probabilités numériques construites factuellement selon *IMQ* et $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$. D'autre part ce choix initial arbitraire permet de déterminer, via les transformations de base de Dirac et de manière consistante avec les choix arbitraires de $\{e^{i\alpha(j)}\}$, les facteurs complexes $\{e^{i\beta(k)}\}$ qui interviennent dans l'expansion

$$|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{B} = \sum_k e^{i\beta(k)} |d_k(t, \mathbf{B})| |v_k(x, b_k)\rangle, k = 1, 2, \dots, K, \forall t \quad (14)$$

du ket inconnu $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ selon les ket propres $\{|v_k(x, b_k)\rangle\}$ de toute autre observable dynamique \mathbf{B} qui ne commute pas avec \mathbf{A} . En effet pour toute valeur donnée de l'indice k , nous avons dans *MQHD* :

$$\langle v_k(x, b_k) | \psi_{Gt}(MQHD) \rangle = e^{i\beta(k)} |d_k(t, \mathbf{B})| = \sum_j \tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) c_j(t, \mathbf{A}), \forall t \quad (15)$$

avec $\tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \langle v_k | u_j \rangle, j = 1, 2, \dots, J$. Donc pour tout indice k fixé mais quelconque, *MQHD* offre une condition séparée

$$e^{i\beta(k)} = \langle v_k | \psi_G(t) \rangle / |d_k(t, \mathbf{B})| = \sum_j \tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) c_j(t, \mathbf{A}) / |d_k(t, \mathbf{B})|, j = 1, 2, \dots, J, \forall t \quad (16)$$

(/ se lit : divisé par) qui détermine le facteur de phase complexe $e^{i\beta(k)}$ qui correspond à cette valeur de l'indice k d'une manière cohérente avec l'ensemble des facteurs complexes $\{e^{i\alpha(j)}\}$ impliqués dans les coefficients $c_j(t, \mathbf{A})$ de l'expansion (11). ▲

Ceci clôt la phase *formelle* de la construction.

Donc, si l'on se donne un ensemble arbitraire $\{e^{i\alpha(j)}\}$ de facteurs de phase complexes pour une observable *choisie* mais *quelconque*, l'on peut ensuite, pour *toute* observable

¹⁸² Leur nombre total est très réduit, bien que l'on s'exprime comme s'il y en avait tout un tas.

dynamique, construire dans $MQ2$ de manière factuelle-formelle une expression que, pour \mathbf{A} donnés quelconque, l'on peut écrire sous la forme

$$\sum_j e^{i\alpha(j)} |c_j(t, \mathbf{A})| |u_j(x, a_j)\rangle, j = 1, 2, \dots, J, \forall t \quad (17)$$

Le principe de décomposabilité spectrale de MQ_{HD} (chap. 4) associé à (10) permet alors de poser que l'ensemble

$$\left\{ \sum_j e^{i\alpha(j)} |c_j(t, \mathbf{A})| |u_j(x, a_j)\rangle, \forall \mathbf{A}, \forall t \right\} \quad (18)$$

de toutes les expressions (17) construites par la voie factuelle-formelle (10)-(17), constituent dans $MQ2$, concernant me_{Gt} , une représentation qui – du point de vue prévisionnel – s'identifie du point de vue prévisionnel au ket d'état $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ de MQ_{HD} . L'on peut donc écrire¹⁸³

$$\left\{ \sum_j e^{i\alpha(j)} |c_j(t, \mathbf{A})| |u_j(x, a_j)\rangle, \forall \mathbf{A}, \forall t \right\} \equiv_{\text{prév.}} |\psi_{G,HD}(t)\rangle \quad (19)$$

où ' $\equiv_{\text{prév.}}$ ' se lit 'identique du point de vue prévisionnel'¹⁸⁴.

Ainsi le point (a) est établi. ◆

(b) Tout au cours de la construction réalisée ci-dessus le théorème de Gleason *absorbe* l'aspect purement formel du postulat de Born. Cependant que les contenus numériques produits dans MQ_{HD} par le postulat de Born via la connaissance préalable de l'équation Schrödinger du problème, la solution générale de cette équation, et la donnée du ket d'état initial $|\psi_G(t_0)\rangle$, viennent d'être produits dans $MQ2$ par une voie factuelle-formelle qui court-circuite l'utilisation des trois éléments mathématiques énumérés.

Ceci établit le point (b). ◆

Ainsi l'assertion Ass.2 est entièrement établie. ■

L'argument $Arg(Ass.2)$ littéralement tisse, il soude même – factuellement – la représentation de IMQ d'un microétat progressif sans champs quantique, à sa représentation mathématique hilbertienne de MQ_{HD} .

Commentaires sur Ass.2

C1(Ass.2). L'assertion Ass.2 étant valide en particulier pour $t = t_0$, dans $MQ2$ le ket d'état au moment initial $|\psi_{G,HD}(t_0)\rangle$ peut lui aussi être construit de manière factuelle-formelle, selon la procédure de l' $Arg(Ass.2)$.

C2(Ass.2). Pour les microétats de la catégorie $me(\text{prog. } Is)_{G_n \text{ cch-q}}$ l'assertion Ass.2 avec l'argument qui l'établit, sépare clairement la strate de conceptualisation statistique, de

¹⁸³Notons que, puisque le choix initial d'un ensemble $\{e^{i\alpha(j)}\}$ de facteurs de phase est arbitraire, l'on dispose en fait dans $MQ2$ de toute une famille infinie de représentations mathématiques de la forme (19), qui, toutes, sont identiques prévisionnellement à la représentation IMQ de me_{Gt} par la description statistique $D_M^t(me_G)$ et dans le même temps s'identifient entièrement à un ket d'état de MQ_{HD} possible pour me_{Gt} .

¹⁸⁴En toute rigueur, cette formulation devrait être mise en accord avec le choix d'effectivité annoncé dans 6.1 (relativisation à unités de mesure, etc). Quant à la précaution de n'affirmer qu'une identité prévisionnelle, elle sera approfondie en relation avec l'assertion Ass.5 de 7.4.6

la strate de conceptualisation individuelle à *partir* de laquelle la strate statistique s'élabore. Ceci entraîne que dans *MQ2* – comme dans *IMQ* – il devient clair que :

La vérification des prévisions contenues dans la représentation prévisionnelle (19) peut être accomplie par simple réitération de la procédure de *construction* factuelle-formelle qui a conduit à (19).

Ainsi l'asymétrie introduite à cet égard dans *MQ_{HD}* par la construction toujours purement mathématique (en principe) d'un ket d'état, est effacée, et l'unité d'essence entre *IMQ* et *MQ2* devient évidente.

Ceci ne veut pas dire que l'on propose d'exclure désormais la construction des ket d'états par voie la purement conceptuelle-mathématique développée dans la mécanique ondulatoire et dans *MQ_{HD}*. Lorsque cela est possible, c'est clairement utile.

Mais l'adjonction d'un recours toujours disponible à une construction factuelle-formelle augmente considérablement le domaine de possibilité effective de prévoir concernant des microétats progressifs sans champ quantique. Dans *MQ2*, elle dote la catégorie des microétats $me(prog.Is)_{G_n,ceh,q}$ d'une représentation prévisionnelle enracinée directement dans un terrain factuel, physique. Une telle représentation jouit d'une généralité qui moins restreinte par les possibilités *mathématiques* de faire face à des conditions extérieures *CE* quelconques (obstacles, etc.).

En outre, via *IMQ*, autant la genèse factuelle-formelle de la représentation mathématique de (19), que la représentation elle-même, sont explicitement et minutieusement organisées des points de vue épistémologique, conceptuel, opérationnel, méthodologique.

C3(A2). Le principe de décomposabilité spectrale de tout ket d'état $|\psi_G(t)\rangle$, est utile dans la représentation des microétats, notamment parce qu'il permet de disposer d'une classification préalable des prévisions impliquées par $|\psi_G(t)\rangle$, par observables **A** et valeurs propres de celles-ci.

Mais le principe de décomposabilité spectrale et l'utilisation du symbole d'égalité '=' dans l'écriture de ce principe créent l'illusion qu'il s'agirait d'une certitude mathématique. Or en fait l'on est très loin d'une certitude mathématique. Il suffit de penser aux difficultés rencontrées afin d'établir l'existence d'une décomposition Fourier dans le cas d'une fonction de variables réelles.

Cette remarque conduit à la question suivante : La connaissance de l'expression analytique de la fonction d'état logée dans un ket d'état $|\psi_G(t)\rangle$ est-elle essentielle afin d'établir concernant des microétats les connaissances factuelles que l'on recherche ? Il est évidemment commode de disposer d'une fonction mathématique, lorsque cela est aisé, afin de pouvoir agir directement sur la base de prévisions calculées. Mais si cela n'est pas aisé, cependant qu'un espace Hilbert de représentation est adéquat parce qu'un codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ est possible, alors il suffit – *Ass.2* le montre bien – d'introduire un symbole unique *quelconque* pour étiqueter l'ensemble des sommes de la forme (19) et d'établir factuellement les valeurs numériques des termes qui interviennent dans chaque telle somme.

Et en outre – et c'est cela qui est le plus notable – cette question, par sa nature profonde, dépasse de loin les problèmes de la représentation mathématique des microétats. Elle concerne un niveau tout à fait fondamental et général des processus de conceptuali-

sation, que Husserl a longuement étudié dans sa Phénoménologie¹⁸⁵. Il est intéressant de voir que cette question générale émerge notamment en relation avec le principe de décomposabilité spectrale et le processus de construction d'une représentation satisfaisante des mesures quantiques. Ce fait peut être regardé comme un indice de la relation organique entre la structure d'une représentation des microétats par des observateurs-concepteurs humains, et la structure générale des conceptualisations humaines de ce qu'on appelle 'le réel' : partout, dans la conceptualisation humaine de ce que nous appelons 'réel physique', l'on discerne la tendance irrépressible de construire de "objets" distincts du 'substrat' et l'un de l'autre.

7.4.4. La théorie des transformations de Dirac et l'expression dans MQ2 de la méta-loi de probabilité $Mlp(me_G)$ de IMQ

L'argument qui établit l'assertion *Ass.2* conduit à une conséquence immédiate concernant l'expression dans MQ2 de la méta-loi de probabilité $Mlp(me_G)$ de IMQ.

Revenons à l'argument qui établit l'assertion *Ass.2* et considérons-y le système des relations (15) de la preuve de $L(A2)$ qui, dans MQ_{HD} , définit le passage de la décomposition spectrale de $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ sur la base $\{|u_j\rangle\}, j = 1, 2, \dots$, introduite par une observable \mathbf{A} , à la décomposition de $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ sur la base $\{|v_k\rangle\}, k = 1, 2, \dots$ introduite par une observable \mathbf{B} qui ne commute pas avec \mathbf{A} . L'on peut faire l'assertion *Ass.3* suivante.

Assertion *Ass.3*

Les assertions *Ass.1* et *Ass.2* permettent de considérer ce qui suit. L'ensemble des relations

$$\{p(b_k) = \mathbf{F}_{AB}\{p(G, a_j)\}\}, \forall k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall (\mathbf{A}, \mathbf{B})$$

(réécriture des relations $p(Yk) = \mathbf{F}_{XY}\{p(G, Xj)\}$ de 2.6.1.4) qui, dans IMQ, constituent par définition le concept qualitatif de méta-loi de probabilité dénoté $Mlp(me_G)$, 'pointe' dans MQ2 vers le système (14)+(15) d'expressions mathématiques

$$\{d_k(t, \mathbf{B}) = \sum_j \tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B})c(t, a_j)\}, \forall k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall |\psi_{G,HD}(t)\rangle, \forall (\mathbf{A}, \mathbf{B})$$

établi dans MQ_{HD} par la théorie des transformations de Dirac. En retour, dans MQ2 ce fait assigne à l'algorithme de 'transformation de représentation' de Dirac, la signification méta-probabiliste établie dans IMQ pour $Mlp(me_G)$.

¹⁸⁵Husserl a montré que le concept d'"objet" dans le sens du langage courant est une *construction conceptuelle*, puisque personne n'a jamais *perçu* "une chaise", "une table", etc. ni, d'autant moins, l'"Océan Atlantique" ou "le Himalaya". (Ceci apparaît comme paradoxal lorsqu'on pense que les "objets" classiques sont conçus être un paradigme de matérialité). On ne perçoit que des impressions sensorielles liées à *tel* ou *tel* point de vue sur ce que l'on *dénomme* en tant qu'un "objet" (penser aux représentations architecturales, aux scans, etc). La véritable question est donc celle des critères selon lesquels la foule initialement chaotique de telles impressions sensorielles, se sépare progressivement en groupes de cohérence dont chacun 'mérite' *un nom*, une seule étiquette globalisante, parce qu'il manifeste une certaine invariance face à certains groupes de transformation. Ces critères, je pense, ne sont véritablement établis. Dans IMQ ceci revient à se demander à quel critère de cohérence mutuelle obéissent les descriptions transférées qui correspondent à une opération de génération G à effets invariants face à *tel* ou *tel* ensemble de vues V différentes. D'un point de vue mathématique et pour un microétat me_G , cela focalise l'attention sur les conditions nécessaires et suffisantes de la constructibilité d'une représentation fonctionnelle $\psi_G(x, t) = a(x, t)e^{ij\varphi(x, t)}$ – posée a priori comme 'exsistante' et comme absolue – à partir de l'ensemble des représentations mathématiques *relativisées* de me_G ayant la structure (11), liées à une opération G 'donnée' (i.e. la même face à un certain ensemble de paramètres contrôlables, pas plus que cela) et à l'ensemble des observables dynamiques A : Les relations (14), (15), (16) du lemme $L(A2)$ montrent bien que 'la' fonction d'onde est définie à un ensemble *près* de facteurs de phase *arbitrairement* donnés dans l'une de ces représentations, i.e. qu'il s'agit en fait d'une famille infinie de fonctions d'onde acceptables. Pragmatiquement, cela attire l'attention sur l'utilité, ou la *nécessité*, d'une représentation mathématique fonctionnelle 'unique', et sur les critères de possibilité, logique, épistémologique, etc., pas seulement mathématique.

Arg(Ass.3)

Dans IMQ les actes de $Mes(A)$ de la grandeur dynamique A engendrent les évolutions physiques et individuelles dites ‘de mesure’ du microétat physique et individuel à étudier, me_G . Celles-ci sont logées dans la branche de l’arbre de probabilités $T(G, V_M)$ de me_G , qui est liée à la grandeur A . Et les résultats de ces actes de $Mes(A)$ constituent progressivement une description statistique ‘de branche’ $D_A^t(me_G) \equiv \{p(G_t, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$ qui est contenue dans la description statistique globale $D_M^t(me_G) \equiv \{p(G_t, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_A \in V_M$.

Mutatis mutandis, une grandeur B qui ne commute pas avec A (au sens de IMQ) met en jeu une autre branche de l’arbre $T(G, V_M)$ et elle conduit à une autre description statistique ‘de branche’ que l’on peut dénoter par $D_B^t(me_G) \equiv \{p(G_t, b_k)\}, k = 1, 2, \dots, K$ et qui, elle aussi, est incluse dans la description statistique globale $D_M^t(me_G) \equiv \{p(G_t, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_A \in V_M$.

Pendant que dans la méta-strate statistique de la couronne de $T(G, V_M)$, agit la méta-loi de probabilité $Mlp(me_{G_t})$, à forme mathématique non-spécifié dans IMQ , et qui, par définition, contient toutes les relations de la forme générale $p(b_k) = \mathbf{F}_{AB}\{p(G_t, a_j)\}$ (2.6.1.4) qui – en conséquence du fait que les deux branches considérées sont issues d’une même opération de génération G_t – sont posées relier les deux descriptions statistiques $D_A^t(me_{G_t}) \equiv \{p(G_t, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$ et $D_B^t(me_{G_t}) \equiv \{p(G_t, b_k)\}, k = 1, 2, \dots, K$ qui coiffent les deux branches mentionnées (2.7).

Soit maintenant $|\psi_{G,HD}(t)\rangle$ le ket d’état qui représente dans MQ_{HD} le microétat physique individuel produit par l’opération de génération G_t . Selon *Ass.1* :

- La description statistique $D_A^t(me_{G_t}) \equiv \{p(G_t, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$ de IMQ a été montré être identique à la description statistique représentée dans MQ_{HD} par le membre de droite de l’expansion (11) $|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{A} = \sum_j e^{i\alpha(j)} |c_j(t, \mathbf{A})| |u_j(x)\rangle, j = 1, 2, \dots, J$.

- La description statistique $D_B^t(me_{G_t}) \equiv \{p(G, b_k)\}, k = 1, 2, \dots, K$ de IMQ a été montrée être identique au membre de droite de la description statistique qui dans MQ_{HD} est représentée par l’expansion $|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{B} = \sum_j e^{i\alpha(j)} |c(b_k, \mathbf{B})| |v_k(x)\rangle, k = 1, 2, \dots, K$, ayant la même forme générale (11) mais qui est liée à une observable \mathbf{B} qui ne commute pas avec \mathbf{A} .

Dans IMQ la méta-loi de probabilité $Mlp(me_G)$ relie $D_A^t(me_{G_t})$ à $D_B^t(me_{G_t})$ par une relation présupposée avoir la forme qualitative générale

$$p(b_k) = \mathbf{F}_{AB}\{p(G, a_j)\}, k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall (V_A, V_B) \in V_M$$

Dans MQ_{HD} les deux expansions $|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{A} = \sum_j c_j(t, \mathbf{A}) |u_j(x, a_j)\rangle, j = 1, 2, \dots, J$ et $|\psi_{G,HD}(t)\rangle / \mathbf{B} = \sum_k d_k(t, \mathbf{B}) |v_k(x, b_k)\rangle, k = 1, 2, \dots, K$, sont reliées via les expressions (15) de Dirac :

$$d_k(t, \mathbf{B}) = \sum_j \tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) c_j(t, \mathbf{A}), \forall k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, \forall |\psi_{G,HD}(t)\rangle, \forall (\mathbf{A}, \mathbf{B})$$

Il semble donc que l’on soit fondé de considérer que la relation entre $D_B^t(me_{G_t})$ et $D_A^t(me_{G_t})$ qui dans IMQ est indiquée par le symbole $p(b_k) = \mathbf{F}_{AB}\{p(G, a_j)\}, k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall (V_A, V_B) \in V_M$ et appartient à l’ensemble des relations symbolisées par

$Mlp(me_G)$, pointe vers le même concept qui dans MQ_{HD} est exprimé par les égalités $d_k(t, \mathbf{B}) = \sum_j \tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) c_j(t, \mathbf{A})$, $k \in \{k = 1, 2, \dots\}$, $j = 1, 2, \dots, \forall |\Psi_{G,HD}(t)\rangle, \forall(\mathbf{A}, \mathbf{B})$.

En ce sens, dans $MQ2$ l'on est porté à écrire :

$$\begin{aligned} Mlp(me_G) &\equiv \{p(b_k) = \mathbf{F}_{AB}\{p(G, a_j)\}\}, k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall(\mathbf{A}, \mathbf{B}) \\ &\approx_{(Ass.1, D, Gl)} \\ \{d_k(t, \mathbf{B}) &= \sum_j \tau_{kj}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) c_j(t, \mathbf{A})\}, k \in \{k = 1, 2, \dots\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall |\Psi_{G,HD}(t)\rangle, \forall(\mathbf{A}, \mathbf{B}) \end{aligned} \quad (20)$$

(où ' $\approx_{(A1, D, Gl)}$ ' se lit : équivalent selon (Ass.1, la théorie des transformations de Dirac et le théorème de Gleason). ■

Il est évident qu'il ne s'agit pas là d'une preuve mathématique au sens plein du terme, mais seulement d'une sorte d'identification de termes. En outre l' $Arg(Ass.3)$ n'épuise probablement pas le contenu sémantique de l'ensemble dénoté $Mlp(me_G)$ des relations méta-probabilistes possibles entre les espaces de probabilité Kolmogorov qui coiffent les branches d'un arbre de probabilité d'un microétat physique et individuel de un micro-système et à opération de génération non-composée, sur le premier niveau statistique de l'arbre¹⁸⁶.

Il n'est pas dépourvu d'intérêt d'attirer l'attention sur une éventuelle signification (méta)probabiliste de la théorie des transformations de Dirac. Car dans MQ_{HD} cette 'théorie' est considérée avoir une nature exclusivement algorithmique, lors d'un changement de référentiel dans un espace de Hilbert.

Cependant que que :

La conclusion (20) permet, dans le cas des microétats progressifs sans champ quantique, de regarder dans $MQ2$ la théorie des transformations de Dirac comme *un calcul de proximités sémantiques*, lié d'une part à la méta-unité probabiliste de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ de me_G induite par l'unique opération de génération G qui se trouve dans son tronc, et d'autre part à sa multiplicité sémantique induite par les qualificateurs différents qui agissent dans les branches (cf. la figure 4 de 2.10).

Ces conjectures introduites par l'argument de l'assertion $Ass.3$ pourraient s'avérer utiles pour une intelligibilité de $MQ2$ explicitement insérée via IMQ dans la compréhension de l'entière conceptualisation humaine de ce que nous appelons 'le réel physique'.

7.4.5. Sur le concept de loi d'évolution

Revenons sur un point qui, de manière implicite, a déjà été utilisé dans l'assertion $Ass.2$. À savoir que dans IMQ tout processus de construction de connaissances concernant un microétat physique et individuel donné $me_G \leftrightarrow G$ – i.e. tout processus de construction de la description $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp(me_G)]$ correspondante – est *toujours* 'initial' en ce sens qu'il commence toujours à partir d'un zéro local de

¹⁸⁶Il serait intéressant d'étudier *si*, et éventuellement *comment*, la correspondance (21) résiste dans le cas d'un microétat à opération de génération composée qui comporte des champs quantiques, ou dans le cas d'un micro-état de deux ou plusieurs micro-systèmes qui soulève la question de localité (vraisemblablement, toujours parce ce qu'il comporte des champs quantiques) : car il apparaîtra que dans ces cas une représentation des probabilités des résultats observables des mesures qui fait intervenir des kets *propres* et le théorème de Gleason – donc une représentation hilbertienne – paraît être *inappropriée*.

connaissance, via une opération G de génération de microétat. Simplement, cette opération de génération peut avoir : soit la forme qui dans 2.8 a été dénotée G , *ce qui implique par convention que dès que l'opération de génération est accomplie l'on commence un acte de mesure* ; soit de la forme dénotée $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ où $\Delta t = t - t_0$, ce qui veut dire par définition qu'avant de commencer un acte de mesure, on laisse passer un intervalle de temps $t > t_0$ au cours duquel le concepteur observateur n'agit plus, il laisse agir exclusivement des conditions extérieures CE (qui peuvent, soit inclure l'action représentée par un hamiltonien H évolutif, soit se réduire à celui-ci, soit (peut-être) *s'en dispenser*).

Dans ces conditions l'on peut d'ores et déjà affirmer que, à l'intérieur de IMQ , la non-nécessité – pour le but de prévoir des probabilités de manifestations observables – de la connaissance d'une 'loi d'évolution' de la description $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A \in V_M), Mlp(me_G)]$, est claire pour l'entière catégorie des états progressifs et sans champ quantique (à opération de génération non-composée). Car l'argument $Arg(Ass.2)$ n'introduit aucune restriction afin d'admettre pour l'opération de génération G d'un microétat la forme plus complexe et générale $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ avec $\Delta t = t - t_0$.

D'autre part, l'équation d'évolution de Schrödinger tient dans MQ_{HD} un rôle central. Afin de tenir explicitement compte de ce fait dans la construction de $MQ2$ nous énonçons en toutes lettres l'assertion suivante.

Assertion Ass.4.

Dans $MQ2$, pour un microétat de la catégorie $me(prog.Is)_{G_n,ceh-q}$, une représentation des effets *exclusivement prévisionnels*¹⁸⁷ de l'équation d'évolution de Schrödinger peut être construite de manière *factuelle* pour *toutes* conditions extérieures CE qui permettent des réalisations réitérées d'un très grand nombre de successions de mesure individuelles codantes au sens du postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ et ayant la forme générale (9) de 7.4.2 réécrite pour une opération de génération G_t qui remplace l'opération de génération initiale G :

$$[(G_t \rightarrow me_{G_t,exi}).Mes_c(\mathbf{A})(me_{G_t,exi}) \rightarrow_{\mathbf{H}(\mathbf{A})} me_{G_t,exi}(e^{i\varphi(x,t)} |u_j(x, a_j))] \quad (9)$$

où $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ (cf. 2.8) avec $\Delta t = t - t_0$, $t > t_0$ ¹⁸⁸, et la flèche indexée ' $\rightarrow_{\mathbf{H}(\mathbf{A})}$ ' exprime que l'acte de mesure codante $Mes_c(\mathbf{A})(me_{G_t,exi})$ qui suit immédiatement l'opération de génération *globale* $G_t = F(G, CE, \Delta t)$ de $(me_{G_t,exi})$ est accompli sous l'action des champs comportés par le hamiltonien $\mathbf{H}(\mathbf{A})$ qui commute avec l'observable mesurée \mathbf{A} et conduit à un état propre de $me_{G_t,exi}$.

Arg(Ass.4)

Voir 2.8. ■

Commentaires sur Ass.4

CI(Ass.4). Dans IMQ l'on pose une relation de un-à-un $G \leftrightarrow me_G$. Les assertions $Ass.2$ et $Ass.4$ et les arguments qui établissent ces assertions fondent désormais explicitement la transposition de cette relation sur le niveau statistique également, à savoir, en tant qu'une relation

$$G_t \leftrightarrow |\Psi_{G_t}\rangle \quad (21)$$

¹⁸⁷La nécessité et le sens de cette restriction se préciseront dans l'assertion $Ass.5$ et l'argument qui l'établit.

¹⁸⁸Cela revient à exiger que $H(A)$ ne soit allumé qu'au moment $t > t_0$, après le moment d'origine t_0 (le zéro de l'exemple $me_{G_t,exi}$ du microétat étudié me_G), i.e. quand commence l'acte de mesure $Mes_c(A)$ de la succession individuelle $[(G_t \rightarrow me_{G_t,exi}).Mes_c(A)(me_{G_t,exi})]$.

qui transpose la relation $G \leftrightarrow me_G$ de IMQ – placée sur le niveau individuel de conceptualisation – à la représentation de l'ensemble des prévisions statistiques liées à G à tout moment $t > t_0$. Ceci constitue une justification et extension a posteriori de la convention de 6.3.2 d'attacher à un ket d'état l'indice inférieur G lié au microétat représenté me_G .

En outre, puisque $G_t = F(G, CE, \Delta t)$, la relation $G_t \leftrightarrow |\psi_{G_t}\rangle$, via G , relie explicitement et très fortement le niveau de conceptualisation statistique, à un niveau de conceptualisation qui selon le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ débute désormais dans le niveau de conceptualisation *strictement* individuel exprimé par la notation $me_{G,exi}$ (cependant que la décision méthodologique $G \leftrightarrow me_G$ de IMQ n'atteint pas l'individualité stricte, en conséquence de la statisticité primordiale qui se fait jour pour les effets de mesures sur ce qui a été dénoté ' me_G ').

Ainsi dans $MQ2$, en conséquence de l'incorporation de IMQ associée au postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$, la distinction entre le niveau de conceptualisation individuel, et le niveau statistique de MQ_{HD} devient radicale.

C2(Ass.4). Notons un fait intéressant : l'assertion *Ass.4*, lorsqu'on la compare à l'équation d'évolution, produit l'impression d'une sorte de pulvérisation purement numérique, abstraite et pragmatique, d'un tout organique qui, par l'utilisation de l'équation de Schrödinger et du ket d'état $|\psi_{G_t}\rangle$ correspondant, se trouverait saisi avec toute sa structure *interne* et les fonctionnements de celle-ci : cette impression provient-elle de l'incorporation erronée dans la loi d'évolution de Schrödinger, signalée dans 7.2.1, de l'entité physique individuelle ' me_G ' à laquelle le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ assigna une nature ondulatoire ?

C3(Ass.4). De nouveau le postulat de Born n'est intervenu nulle part.

En ces conditions l'on éprouve le besoin de finalement élucider d'une façon approfondie en quoi, exactement, dans le cadre de MQ_{HD} , consiste le rôle spécifique de l'équation d'évolution de Schrödinger et de la fonction d'état qu'on en tire, ainsi que le rôle du postulat de Born, et de spécifier les raisons pour lesquelles il est utile – ou non – d'inclure ces descripteurs dans la nouvelle représentation $MQ2$.

7.4.6. Sur le postulat de Born et l'équation d'évolution de Schrödinger

La stratégie de représentation qui a fondé la mécanique ondulatoire a utilisé l'analyse mathématique, notamment les équations différentielles et leurs solutions en termes de fonctions mathématiques continues. La connexion de ces instruments formels – nés dans la pensée classique – avec les caractères irrépressiblement probabilistes des résultats observables de mesures, a été assurée initialement via l'imposition du postulat de Born selon lequel le nombre qui exprime la valeur de la fréquence relative de l'observation d'une valeur a_j de l'observable \mathbf{A} – dénommée hâtivement 'probabilité' $p(a_j)$ de a_j (MMS [2014]) – est égal à $|c_j|^2$ où c_j est la valeur numérique du coefficient d'expansion du ket d'état sur la base de \mathbf{A} .

Plus tard, la correspondance *formelle* et de signification *générale* entre la probabilité d'observation $p(t, a_j)$ et $|c(t, a_j)|^2$, s'est trouvée confirmée par le théorème de Gleason (7) qui en fait tout simplement absorbe ces aspects généraux du postulat de Born, dans la structure de l'espace de représentation.

Mais le postulat de Born va plus loin que le théorème de Gleason puisqu'il affirme en plus l'égalité *numérique*, en chaque cas *donné*, entre $p(a_j, t)$ et $|c_j(a_j, t)|^2$.

Or on peut se demander *par quelle voie un tel accord numérique émerge*.

En effet cet accord peut sembler à la fois arbitraire et miraculeux. Car il s'agit d'un accord entre des circonstances *factuelles* – les résultats de grands nombres de résultats d'actes de mesure – et d'autre part les performances d'instruments mathématiques, abstraits, un ket d'état $|\psi_G(t)\rangle$ et des algorithmes de décomposition spectrale de ce ket, qui semblent ne pouvoir incorporer les conditions physiques extérieures considérées que d'une manière très globale et abstraite.

À certains yeux le postulat de Born a paru même miraculeux, à tel point qu'on a essayé d'en identifier une *déductibilité cachée* (cf. dans le mémoire DEA, Philosophie des Sciences, 2003, de D. Raichman : Destouches-Février (1946) et (1956), Ballentine (1973), Deutsch (1999)). Mais imaginer la possibilité d'une telle déductibilité manifeste un total oubli de l'abîme infranchissable de *nature* qui sépare les transformations logico-mathématiques, des données premières qu'on ne peut tirer que directement des faits, de manière a-rationnelle¹⁸⁹. D'autre part Anandan [2002] a signalé explicitement *l'hiatus infranchissable entre conceptualisation en termes de mathématiques continues et conceptualisation probabiliste*, et il a proposé un traitement de ce problème pour le cas de la mécanique quantique, à l'aide d'une nouvelle modélisation mathématique¹⁹⁰.

Revenons à l'approche présentée ici. L'argument qui établit l'assertion Ass.2 montre que, en tenant compte de *IMQ* d'une part et d'autre part des caractéristiques générales d'une représentation mathématique Hilbert – ce qui introduit notamment le théorème de Gleason – l'on peut obtenir une représentation du microétat étudié qui soit identique d'un point de vue prévisionnel à celle de *MQ_{HD}*, sans que l'on se soit donné préalablement la définition mathématique d'un ket d'état à l'aide d'une équation d'évolution du problème, et sans recours au postulat de Born.

En outre, l'assertion Ass.4 établit que – en ce qui concerne les prévisions – l'équation d'évolution de Schrödinger peut être 'simulée' selon le concept *IMQ* d'évolution de la représentation d'un microétat (2.8).

Ainsi l'idée que l'on pourrait peut-être contourner l'utilisation d'une équation d'évolution et du postulat de Born, du moins pour les microétats de la catégorie $me(prog.Is)_{G_n,ceh,q}$, se met à luire sur l'horizon.

Mais de quoi s'agit-il, exactement ? Essayons de formuler des questions plus définies.

Soit un microétat de la catégorie $me(prog.Is)_{G_n,ceh,q}$, et soit $|\psi_{Gt}\rangle$, avec $t \geq t_0$, le ket d'état retenu comme solution de l'équation d'évolution du problème. Lorsqu'on établit factuellement comme dans (19) l'ensemble des contenus prévisionnels recherchés, ou lorsqu'on 'simule' factuellement l'entière équation d'évolution :

(a) Est-ce-qu'il subsiste un résidu de contenu pertinent face à la situation physique considérée, qui se *trouve* piégé dans l'équation d'évolution et le ket d'état $|\psi_{Gt}\rangle$ calculé à l'aide de cette équation, cependant qu'il reste *absent* du membre gauche de (19) et de la simulation factuelle de l'équation d'évolution affirmée dans l'Ass.4 ?

¹⁸⁹Il est évident que vouloir déduire *tout* ce qui 'existe', est non-sens. Mais où placer la barrière entre ce qu'il est possible de déduire et ce qui intervient comme 'donnée première' ? Kepler cherchait encore à déduire les *dimensions spatiales* des corps célestes par des démarques du même type que celles qui identifient les trajectoires des corps célestes. Cependant que Newton considérait déjà que les trajectoires peuvent être déduites parce qu'elles sont *catégorielles*, cependant que les conditions initiales sont d'une nature essentiellement singulières et donc doivent être données *cas par cas*. La syllogistique d'Aristote, qui est à la base de toute théorie mathématique-déductive, tient compte explicitement du rôle des degrés de singularité dans les constructions descriptionnelles ; car elle introduit l'*hypothèse* majeure comme une assertion provisoire qui, parce qu'elle n'a jamais encore été infirmée par l'expérience, est universalisée sous forme d'un postulat local, *pour des raisons de méthode*, à savoir pour le *but* de pouvoir imposer par la suite une conclusion consensuelle ; cependant que l'hypothèse mineure est introduite comme l'assertion *factuellement vraie* d'un fait particulier.

¹⁹⁰En son essence *non-mathématique*, la vue d'Anandan est en accord avec la notre. Mais ci-dessous précisément ce même problème est abordé tout à fait autrement, en dehors de toute modélisation mathématique supplémentaire.

(b) Est-ce-qu'il subsiste un résidu de contenu significatif qui se trouve piégé dans le postulat de Born, cependant qu'il est absent du résultats (19) de l'Ass.2 ?

Ces deux questions conduisent à l'assertion A5 suivante.

Assertion Ass.5.

Dans $MQ2$ et pour les microétats de la catégorie $me(prog.Is)_{G_n, ch.q}$:

(a) La postulation d'une équation de Schrödinger 'du problème' en tant qu'une loi d'évolution qui détermine $|\psi_{Gt}\rangle$ mathématiquement, et ce ket d'état lui-même, impliquent une certaine essence qui, à la base, est physique, et qui *échappe* aux énoncés explicites des contenus purement prévisionnels considérés dans (19) et dans l'Ass.4, tout en déterminant ces contenus.

(b) La construction factuelle de (19) met entièrement en disponibilité le postulat de Born.

Ces assertions peuvent paraître évidentes. Néanmoins plus bas est développé un bref argument qui les soutient, car celui-ci rend la situation conceptuelle très claire.

Arg(A5).

(a) Supposons que la situation considérée est hamiltonienne et que l'équation d'évolution du problème, $i(\hbar/2\pi)(d/dt)|\psi_{Gt}\rangle = \mathbf{H}|\psi_{Gt}\rangle$, sa solution générale, ainsi que le ket d'état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$, ont pu être construits et sont connus. Soit $|\psi_{Gt}\rangle$ le ket d'état qui résulte pour $\forall t > t_0$ de l'équation d'évolution considérée et de la 'donnée' directe de $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$, au sens de MQ_{HD} .

L'équation d'évolution est du premier ordre par rapport à t . Donc – mathématiquement – elle est 'déterministe'. Ceci revient à poser que rien d'imprévu ne peut s'introduire par voie *formelle* dans le passage du ket initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$, au ket d'état général $|\psi_{Gt}\rangle$, $\forall t > t_0$. Ceci revient à poser que le ket d'état $|\psi_{Gt}\rangle$ permet de calculer, à partir des prévisions fournies par la donnée de $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$, des prévisions affirmées pour $\forall t > t_0$, qui ne trahissent ni la structure générale de représentation mathématique choisie (espace vectoriel Hilbert généralisé, théorème de Gleason), ni les contenus factuels particuliers introduits par $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$.

Il paraît clair que :

Poser cela est équivalent à poser que la loi d'évolution ne faire rien d'autre que transporter mathématiquement selon les implications formelles de la structure mathématique de représentation choisie, les contenus factuels introduits par $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ ¹⁹¹.

¹⁹¹ Si l'on n'en est pas convaincu, on peut imaginer l'expérience de pensée suivante.

Portons d'abord explicitement jusqu'au degré *maximal imaginable* l'information contenue dans la donnée du ket d'état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$, c'est-à-dire, imaginons que ce ket initial a été construit factuellement selon (19),

$$\left\{ \sum_j^A j e^{i\alpha(j)} |c(t_0, a_j)\rangle |u_j(x, a_j)\rangle, j = 1, 2, \dots, J \right\} \equiv_{\text{prév.}} |\psi_{G_{t_0}}\rangle, \forall \mathbf{A}. \quad (19')$$

Avec une genèse (19'), le ket initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ acquiert la signification idéale d'une prévisibilité 'totale' au moment initial t_0 – 'from God's eye' – des résultats de 'tous' les actes de mesure sur le microétat étudié, qui sont considérés dans MQ_{HD} , cependant que la connaissance de toute *autre* sorte de donnée factuelle sont là également, mais elle dépasse le cadre d'intérêt, et aussi de 'dicible' offert par MQ_{HD} . Le membre de gauche de (19') contient cette connaissance prévisionnelle exhaustive à t_0 , cependant que le membre de droite l'exprime synthétisée à l'aide du symbole $|\psi_{Gt}\rangle$ ⁹ d'un ket d'état de l'espace Hilbert du problème. Un vrai Janus à deux visages, l'un factuel, l'autre, élément d'une syntaxe mathématique.

Considérons maintenant le ket d'état $|\psi_{Gt}\rangle$, $\forall t > t_0$ du microétat étudié, obtenu à l'aide du ket d'état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ de (19') et de l'équation d'évolution du problème.

L'assertion Ass.1 établit que l'*unique* façon de vérifier les prévisions affirmées par $|\psi_{Gt}\rangle$ à un moment donné t , est de construire de nouveau conformément à IMQ – i.e. conformément aussi à Ass.2 – l'équivalence

Or si l'on accepte l'équivalence mentionnée alors l'assertion Ass.5 s'ensuit trivialement, en se précisant : L'essence propre d'une équation d'évolution est de transposer à tout moment $t > t_0$ les contenus qui y ont été introduits au moment initial t_0 . Or un tel transport n'est pas incorporé aux statistiques qui dénombrent des résultats de mesures qui miment au sens de 2.8 l'évolution du microétat initial me_G étudié et qui sont considérées dans l'assertion Ass.4. Un tel transport comporte, en plus, certains caractères physiques d'un substrat d'exemplaires individuels du microétat étudié.

Ceci établit le point (a) de l'Ass.5. ◆

(b) Le raisonnement de l'Arg(Ass.2) montre que, pour un microétat $me(\text{prog.}Is)_{G_n \text{cch-q}}$, le théorème de Gleason *suffit* afin d'introduire la forme mathématique vide de tout contenu chiffré $|c_j(a_j, t)|^2$, d'accueil de la probabilité prévisionnelle numériquement spécifiée $p^t(G, a_j)$, pour $\forall t$. Quant à la valeur numérique de ces probabilités, la procédure de l'Arg(Ass.2) l'engendre *factuellement* de manière constructive, ce qui *dispense* de calculer cette valeur numérique à l'aide d'un ket d'état défini par l'équation d'évolution, lorsqu'un tel calcul comporte des difficultés.

Mais inversement, en l'absence de la construction factuelle des valeurs numériques des probabilités prévisionnelles $p^t(G, a_j)$, pour $\forall t$, et lorsque l'équation d'évolution peut être construite et résolue, le postulat de Born permet a posteriori des comparaisons avec la factualité physique, de contrôle et maximisation par seule *vérification*

$$\left\{ \sum_j^A e^{i\alpha(j)} |c(t, a_j)| |u_j(x, a_j)\rangle, j = 1, 2, \dots, J \right\} \equiv_{\text{prév.}} |\Psi_G(t)\rangle, \forall A. \quad (19)$$

Re-notons par $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ le membre de droite de l'expression générale (19) (qui inclut l'expression (19')). Et pour différencier a priori, re-notons par $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ le ket d'état produit *mathématiquement* à l'aide de l'équation d'évolution du problème et du ket d'état initial $|\Psi_{G_0}\rangle$ **défini dans** (19'), donc le même que celui incorporé dans $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$.

Supposons maintenant que :

- Dans MQ_{HD} , l'on a effectué formellement, à tour de rôle, les projections de $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ sur tous les ket de base de toutes les bases mutuellement distinctes auxquelles ce ket se rapporte potentiellement.

- L'on a comparé chacune des projections de $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ – une à une – avec la projection correspondante de l'expression du $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ du membre de gauche de (19).

- L'on a répété l'entière procédure un certain nombre de fois et l'on a comparé les résultats.

L'on peut ainsi avoir trouvé, soit que $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}} \neq |\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$, soit que $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}} \equiv |\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ (dans des limites imposées par la statistique, déclarées à l'avance en termes des approximations acceptées). *Tertium non datur*.

Si l'on a trouvé $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}} \neq |\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ **que dira-t-on** ? Que « l'expression $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ du membre de gauche de (19) a été infirmée face au ket d'état mathématique $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ » ? Ou bien que « l'équation d'évolution de Schrödinger et sa solution mathématique $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ a été infirmée » ? Il semble clair que l'on dira :

« La vérité factuelle représentée par $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ est hors de doute par construction, car $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ a été élaboré pas à pas en dénombrant des résultats observables d'actes de mesure, qui sont le dernier arbitre. En outre la conformité formelle de $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ avec toutes les exigences générales du formalisme MQ_{HD} , notamment avec le théorème de Gleason, a été assurée elle aussi pas à pas au cours de l'Arg(A2) qui a construit le contenu prévisionnel de $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$. Pourtant les prévisions tirées de $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ ne sont pas identiques à celles tirées du ket mathématique $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$. Or le ket d'état $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ a été obtenu, lui, sur la base conjointe de : d'une part la donnée du ket d'état initial $|\Psi_G(t_0)\rangle$ de (19') qui est contenu dans le descripteur $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ de (19), et qui vient d'être mis hors de doute ; et d'autre part, par des procédures mathématiques qui ont abouti à l'écriture de l'équation Schrödinger du problème et à l'obtention de sa solution générale. En ces conditions, seules ces dernières procédures mathématiques peuvent être incriminées comme dépourvues de pertinence, à savoir, en ceci et ceci *seulement* qu'elles n'ont pas assuré un transport formel correct à travers le temps, des données initiales factuellement vraies posées par le ket initial $|\Psi_{G_0}\rangle$ de (19') sur lequel l'on a fondé le ket d'état mathématique $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$ »

Et si au contraire l'on a trouvé que $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}} \equiv |\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$, **que dira-t-on** ? Il semble clair que l'on dira :

« Par la construction même de $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ pour $t \geq t_0$, les probabilités affirmées dans (19) sont à la fois factuellement vraies et correctement exprimées face aux exigences formelles de MQ_{HD} . Or il s'avère que la loi d'évolution de Schrödinger assure l'accord entre $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{fact}}$ et $|\Psi_{Gt}\rangle_{\text{Schr}}$, aussi bien du point de vue prévisionnel-factuel que du point de vue formel. Elle constitue donc en effet la loi d'évolution qui agit dans ce cas. »

de l'adéquation de l'expression du ket d'état, ce qui alors dispense de construire ces valeurs numériques factuellement (mais exige des allers-retours sur la spécification du hamiltonien, ou du ket d'état initial, ou les deux à la fois).

Ceci établit le point (b) de l'Ass.5. ◆

Ainsi l'assertion l'Ass.5 est entièrement établie. ■

Commentaires sur Ass.5

CI(Ass.5). Une fois que la répartition des rôles dans MQ_{HD} entre le ket d'état initial et l'équation d'évolution a été établie, il devient immédiatement clair que :

La représentation factuelle de l'évolution d'un microétat construite dans Ass.4 conformément à 2.8 de IMQ , est dépourvue d'un contenu de transformation 'légal' dans le cours du temps, des probabilités $p^t(G, a_j) = |c_j(a_j, t)|^2, \forall t > t_0$, comme celui assuré dans MQ_{HD} par l'équation d'évolution de Schrödinger.

C'est sur ce fait notable que le commentaire C2(A4) dirige l'attention. La loi de probabilité $\{p^t(G, a_j)\}$ d'une description $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), Mlp(me_G)]$ de IMQ (2.5.4 et 2.6.1.4) ne relie pas la fréquence relative $p^t(G, a_j)$ à la fréquence relative $p^{t'}(G, a_j)$ avec $t' \neq t, \forall j, \forall t, t', \forall V_X \in V_M$. Les éléments des distributions statistiques qui interviennent dans $D_M^t(me_G)$ ne sont spécifiés au départ qu'indépendamment l'un de l'autre, d'une manière factuelle qui les génère tout à fait séparément, par des *réitérations* de successions de mesure $[G.Mes(A)]$ en tant qu'une poussière de données factuelles. Et quand finalement ces éléments sont organisés et rassemblés sous le symbole commun $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), Mlp(me_G)]$ (2.5.4 et 2.6.1.4), ils n'y apparaissent comme un Tout qu'en conséquence de : l'opération de génération G commune à toutes ces distributions ; la condition formelle de normation qui – à tout moment t donné – en fait 'une' statistique $D_M^t(me_G)$; et enfin, les relations méta-statistiques de la deuxième couche de l'arbre de probabilité $T(G, V_M)$ qui est impliqué. Ainsi la connexion entre les différentes fréquences relatives statistiques-probabilistes $p^t(G, a_j)$ assemblées dans le descripteur $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), Mlp(me_G)]$ est *statique*, liée à *une seule valeur du paramètre t de temps*¹⁹² : il n'y a pas de lien temporel établi entre les éléments de $D_M^t(me_G)$. Et il en est de même dans (19).

Cependant que l'équation d'évolution de Schrödinger offre une représentation statistique *intégrée dans le temps*, constituée de 'fils' d'évolutions possibles.

C2(Ass.5). L'Arg(Ass.5) souligne bien *la répartition des rôles, dans MQ_{HD} , entre le ket d'état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ et l'équation d'évolution de Schrödinger : $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ donne des probabilités prévisionnelles initiales $p^o(G, a_j) = |c_j(a_j, t_0)|^2$ pour $\forall j, \forall (\mathbf{A})$, cependant que l'équation d'évolution ne fait *que* transformer la validité de toutes ces probabilités prévisionnelles initiales de manière telle que les probabilités $p^t(G, a_j) = |c_j(a_j, t)|^2$ soient *valides* à $\forall t > t_0$.*

Or ce dernier point – lorsqu'il est affirmé explicitement, séparément et en toute généralité – apparaît en effet comme une assertion extraordinaire, sinon miraculeuse.

¹⁹²Un paramètre de temps *d'une statistique*, car lors du début de tout nouvel acte de mesure, la mesure du temps s'opère en partant d'un zéro de temps qui est renouvelé, remis sur l'origine du chronomètre.

Car comment un ket initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ – au sens de MQ_{HD} – peut-il arriver à incorporer ‘tous’ les aspects qui – dans la procédure de l’Ass.2 qui conduit à (19) via des évolutions de mesure (9) – *ne sont incorporés que factuellement, sans être dits, ni représentés, ni connus* ?

Là on éprouve un face-à-face direct et brutal avec ce ‘pouvoir déraisonnable assigné aux mathématiques’ que ressentait Wigner. (Ou bien qu’il *dénonçait* en tant qu’une simple croyance, qu’un énorme faux absolu) ? Car s’agit-il dans ce cas d’un pouvoir qui est *vrai* factuellement ? Comment peut-on savoir que les connaissances particulières, concrètes, et qui concernent des circonstances physiques en grande partie microscopiques, que tel ou tel concepteur-observateur incorpore dans la ‘donnée’ d’un ket initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ en appliquant des règles mathématiques abstraites et générales, épuisent les éléments qui ensuite, via l’équation d’évolution, détermineront les prévisions de répartitions statistiques de résultats de mesures pour $\forall t > t_0$? Sur quelle base pourrait-on appuyer un tel degré de confiance en les pouvoirs des mathématiques ? Cette question concerne la distinction, fondamentale, entre *factualité agissante* et *expression de explicite celle-ci*, dotée de conséquences dicibles et déductibles formellement.

Comment faire pour mieux dominer des circonstances où se manifeste un tel doute ?

Eh bien, il est notable que dans $MQ2$ il apparaisse une possibilité à cet égard : Si l’équation Schrödinger du problème considéré peut exister, peut être écrite et résolue, et si le ket d’état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ peut être spécifié d’une manière qui, avec évidence, est suffisante, alors, afin d’établir ‘ $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ ’ on procède selon les indications de MQ_{HD} . Cela sera très économique face aux possibilités de construction factuelle établies dans Ass.2.

Mais si tout cela n’est pas possible, notamment si les conditions sont telles que l’on dispose d’une équation d’évolution mais que l’on suspecte que le ket d’état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ que l’on se ‘donne’ diminue le contenu maximal possible des données initiales, en ce cas *on peut construire $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ factuellement* selon (19) ; en ce cas il sera certainement doté par construction de ‘tous’ les contenus factuels initiaux traductibles en termes numériques *qui sont considérés a priori dans la construction d’un ‘ket d’état $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$ du microétat étudié’ et qui participent à déterminer $|\psi_{G_t}\rangle$ aux moments $t > t_0$* . Il est donc possible d’utiliser ce ket d’état initial factuel, comme *un instrument de contrôle*. On peut même :

*Maximiser systématiquement l’utilité de l’équation d’évolution en l’associant **toujours** à une construction factuelle (19) du ket d’état initial $|\psi_{G_{t_0}}\rangle$.*

Et en outre, si une équation d’évolution n’est pas possible parce que la situation considérée n’est pas hamiltonienne, ou lorsqu’on ne sait pas exprimer et/ou résoudre l’équation d’évolution du problème, alors dans $MQ2$ l’on peut tout simplement *renoncer* à la calculabilité mathématique de $|\psi_{G_t}\rangle$ et les économies d’effort qu’elle implique. On peut se limiter à construire exclusivement les contenus factuels *prévisionnels* (19) de tout ket d’état auquel on s’intéresse, et même *indépendamment de toute théorisation*.

À l’ère des ‘big data’ et des ordinateurs dont la puissance respecte la loi de Moore, cette possibilité semble très intéressante.

C3(Ass.5). Enfin, en ce qui concerne le postulat de Born, la conclusion qui ressort au point (b) de l’Arg(Ass.5) est notable. Tout s’éclaircit : la source d’efficacité, le domaine de nécessité, le domaine d’utilité.

7.4.7. Conclusion sur 7.4

1. À l'intérieur de $MQ2$ qui est en cours d'élaboration l'on vient d'achever pour la catégorie particulière des microétats $me(prog. Is)_{G_n, ceh-q}$, l'esquisse d'une théorie des mesures qui paraît acceptable de tout point de vue.

Le fait capital d'avoir placé les actes de mesure dans la strate individuelle de conceptualisation des microétats et en relation immédiate avec un acte de génération G correspondant, a éliminé d'emblée, et radicalement, le faux problème de 'réduction du ket d'état'.

Cette séparation des niveaux descriptionnels a tranché dans 7.4 toutes les questions sournoises soulevées par les tâtonnements préliminaires de 6.6.3 concernant le descripteur $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ de MQ_{HD} . Il est apparu clairement que le 'problème de réduction' est la conséquence directe de la cécité de la formalisation de MQ_{HD} face à :

- la différence fondamentale entre strate de conceptualisation individuelle et strate de conceptualisation statistique ;
- l'incontournable nécessité de spécification d'une opération G de génération du microétat physique et individuel me_G étudié, qui soit *immédiatement* précédente à *chaque* acte de mesure considéré, toujours lui aussi nécessairement individuel, physique, et actuel ; cela à l'intérieur d'une succession de mesure $[G.Mes_c(A)]$ au sens de IMQ mais *codante* selon le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ et donc corrélativement, explicitement *associée au formalisme hilbertien* :

Le concept mixte $IMQ-MQ2$ de succession de mesure codante $[G.Mes_c(A)]$ individuelle, physique, actuelle – *entièrement incorporé à la strate de conceptualisation individuelle des microétats* – s'est révélé incontournable et fondamental pour une représentation acceptable des microétats. Les successions de mesure codantes *touchent* par en-dessous la strate de conceptualisation statistique, mais ne peuvent pas y être *incorporées*. Elles peuvent seulement y être *connectées*.

Cependant que les cécités mentionnées ont rendu le concept-clé de succession de mesure codante $[G.Mes_c(A)]$ non perceptible, et elles ont permis l'installation de la tentative impossible de fourrer dans un seul et même descripteur MQ_{HD} – statistique (le descripteur de 'ket d'état de mesure' dénoté dans ce travail ' $|\Psi_{G,H(A)}(t > t_1)\rangle$ ') :

- D'une part, le reflet intermittent d'une succession de mesure codante $[G.Mes_c(A)]$ au sens de (9).
- Et d'autre part, *l'entier contenu statistique – déplacé, et impuissant pour 'mesurer' quoi que ce soit – du ket d'état étudié $|\Psi_{G,H}(t_1)\rangle$* , qui ne représente le microétat étudié me_G que via des statistiques prévisionnelles de nombres abstraits *générées* par des successions de mesure codantes $[G.Mes_c(A)]$.

On peut maintenant comprendre a posteriori l'état de confusion produit par une méprise d'une telle envergure¹⁹³.

2. Dans MQ_{HD} le 'postulat des valeurs propres' (ch.4) *identifie* le groupe de marques physiques observables produit par un acte de mesure, avec la signification abstraite qu'on lui associe, d'un *nombre* qui signifie la 'valeur propre a_j de l'observable \mathbf{A} ' liée à une grandeur mécanique A . Ce faisant, l'on oublie complètement que cette signification abstraite ne peut même pas être précisée, *ni même conçue*, sans avoir d'abord distingué foncièrement entre l'effet observable d'un acte de mesure, et sa *traduction* en termes d'une valeur propre numérique, conceptualisée en termes d'une valeur numérique a_j assignée à l'observable \mathbf{A} : L'entière dépendance *foncière* de la signification de données observées, d'une conceptualisation précédente, est traitée avec une stupéfiante légèreté.

Mais dans MQ_2 – sur la base des apports de IMQ – la nécessité de *postuler* l' 'émergence' de valeurs propres a_j tout simplement *s'évanouit*. Et corrélativement, le problème central de codage saute aux yeux avec tout le relief dont il est doté à l'intérieur de IMQ . C'est la perception – pour la catégorie de microétats $me(prog.Is)_{G_n, ceh, q}$ – de ce problème de principe et fondamental, qui a conduit à la postulation explicite du codage par localisation spatiale, $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$. Cette postulation est riche en implications et elle est à la fois fortement analysante et très synthétique : Elle exprime la connexion intime entre un acte de génération $G \rightarrow me_{G,exi}$ d'un exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel, avec un acte de mesure $Mes_c(\mathbf{A})(me_{G,exi})$ immédiatement subséquent, individuel, physique et actuel, accompli sur cet exemplaire $me_{G,exi}$. Elle implique le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ qui la relie à la représentation de Broglie-Bohm et à la formulation de Jacobi de la mécanique classique ; et enfin, elle implique foncièrement le cadre hilbertien de la représentation mathématique de MQ_{HD} .

Ainsi, dans 7.4.2, le concept d'une succession $[G.Mes(A)]$ qui a été posé dans IMQ en tant qu'un cadre conceptuel vide de contenus spécifiés, a pu être reconçu à l'intérieur de MQ_2 comme *une succession de mesure* $[G.Mes_c(\mathbf{A})]$ *codante pleinement spécifiée*, au sens de la relation

$$[(G \rightarrow me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)}).Mes_c(\mathbf{A})(me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)}))] \rightarrow_{H(A)} me_{G,exi}(e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)) \quad (9)$$

(cette dénotation explicite la distinction entre l'entité physique ' $me_{G,exi}$ ' et sa représentation mathématique par une fonction d'onde individuelle, et met en évidence le rôle du descripteur hilbertien 'ket propre de l'observable \mathbf{A} ')¹⁹⁴.

Tout ceci constitue une avancée majeure qui s'associe à la suppression du problème de réduction.

Car :

- Faute de toute modélisation d'un 'microétat' étudié, physique, individuel et actuel, MQ_{HD} est *déconnectée de la factualité physique sous-jacente*.

¹⁹³C'est cette pure aberration conceptuelle et formelle, portée par la représentation de von Neumann jusqu'à des complexités caricaturales, que nous, tous les physiciens de la mécanique quantique du monde et depuis déjà quelque 90 ans, avons acceptée, réifiée comme s'il s'était agi du soleil ou d'une galaxie, pas d'une construction représentationnelle fabriquée par quelques hommes qui manipulent des formalismes mathématiques sans essayer de faire véritablement contact avec les significations que ceux-ci devraient exprimer sans violer les pentes des cohérences sémantiques. Personnellement, j'ai enseigné cette aberration tout au cours des années 1963-1997 ! J'y pense comme à une grande leçon d'humilité. Il s'agit là d'un phénomène psycho-social que l'on devrait étudier en tenant compte du concept d'inconscient collectif de G. Jung, afin de pouvoir à l'avenir faire face à ses manifestations.

¹⁹⁴Rappelons que dans MQ_{HD} le concept de ket propre s'était égaré parmi les avatars du concept statistique de ket d'état.

- Et faute de spécification claire de règles de codage des marques physiques observables produites par un acte de mesure, MQ_{HD} , *en tant qu'une théorie, est également déconnectée de la connaissance* (même si la pratique des physiciens expérimentateurs y remédie de manière remarquable).

Cependant que :

- $MQ2$, par la relation (9), s'enracine à fond dans le réel physique a-conceptuel sous-jacent.

- Et d'autre part $MQ2$ se connecte explicitement à la connaissance.

Cette sorte de fil continu qui vient d'être constitué dans $MQ2$ – d'unification depuis un factuel a-conceptuel, à travers du conçu inobservable, puis à travers de l'organisé scientifiquement à l'aide de contraintes d'observabilité communicable et consensuelle – reste à être *généralisé*. Il doit être généré pour toute catégorie de microétat et tourné finalement en source et guide d'élaboration d'un sens global.

C'est ce fil qui constitue l'émergence la plus notable de 7.4. C'est en s'y cramponnant que l'on peut espérer de traverser l'abîme qui sépare la mécanique quantique actuelle, de celle qui est baptisée $MQ2$ dès avant d'être née, en marchant-volant sur un pont suspendu à peine matérialisé, tiré de IMQ et ancré dans du non-fait.

3. Par l'assertion *Ass.2*, la *formalisation mathématique* de $MQ2$, en faisant usage de du concept (9) de succession de mesure codante, acquiert des radicules physiques individuelles par lesquelles elle émerge directement du substrat microphysique factuel a-conceptuel. Et cette émergence factuelle, investit le formalisme émergeant de $MQ2$ d'un certain degré d'*indépendance* face aux formalisations directement mathématiques de MQ_{HD} . Ceci constitue un très notable gain de richesse en contenu factuel non-dicible, transmis de façon osmotique par des fragments de réel microscopique tirés directement du substrat de réel microscopique a-conceptuel. Et c'est également un gain de sécurité intrinsèque des résultats observables enregistrés, et un moyen de *contrôle des mathématisations* du niveau de conceptualisation statistique, abstraite, globalisée, des microétats.

4. La conclusion du point qui précède est illustrée par la manière de laquelle s'est précisé le rôle de l'équation d'évolution de Schrödinger. Les assertions *Ass.2* et *Ass.4* ont conduit à conserver dans $MQ2$ cette équation, tout en spécifiant explicitement les frontières de son véritable domaine de possibilité. Et il est ressorti que l'usage de cette équation, lorsqu'il est possible, est précieux, et qu'*il peut être systématiquement contrôlé et maximisé via la construction factuelle du ket d'état initial $|\Psi_{G_0}\rangle$ selon l'Ass.2*. Ceci accroît la connexion directe avec la factualité et diminue la dépendance des données insérées face au formalisme mathématique.

5. Quant au postulat de Born, il est devenu clair que – *pour la catégorie particulière de microétats de la catégorie $me(prog.Is)_{G_n, ceh, q}$ – il peut être entièrement court-circuité par l'usage du théorème de Gleason, en conséquence de la constructibilité factuelle des ket d'état $|\Psi_{G_t}\rangle$ et $|\Psi_{G_0}\rangle$ établie par l'Ass.2*.

Cependant que ce postulat reste utile lorsque l'équation d'évolution de Schrödinger peut être construite et résolue : En ce cas le contrôle et la maximisation de l'usage de cette équation, mentionnés plus haut, se réalisent a posteriori, précisément via l'usage du

postulat de Born.

Ajoutons une remarque d'ordre général : La démarche tellement synthétique de MQ_{HD} provient de la pensée mathématique-et-physique classique, liée au continu et au déterministe. Cette démarche ne se rattache aux caractères probabilistes qu'en dernière instance, via un postulat final, celui de Born. C'est une démarche 'du haut vers le bas' et probabilisée par verdict. Elle ne fait que toucher la *source factuelle-conceptuelle* des caractères probabilistes ; juste la toucher, s'accoler à son dessus. Mais la source *elle-même* de la nature primordialement statistique-probabilistes des descriptions de microétats – celle qui dans IMQ est exprimée par la relation méthodologique $G \leftrightarrow me_G$ et qui injecte de la statisticité 'du bas vers le haut' dans l'entier édifice représentationnel construit à partir de la factualité microphysique a-conceptuelle – cette source reste absente dans MQ_{HD} .

Cependant que dans $MQ2$, parce qu'elle inclut IMQ , cette source vive de la statisticité primordiale d'une représentation des microétats, est incorporée, et elle contribue à la croissance de la formalisation, via le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ et le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$. Cela nourrit et clarifie notablement la situation conceptuelle.

Ainsi – par l'incorporation massive et a priori de IMQ dans la représentation $MQ2$ que nous avons entrepris de construire ; par l'assertion générale *Ass.1* et le but descriptif que l'*Ass.1* a suggéré ; et en conséquence de l'établissement de l'ensemble des assertions *Ass.2-Ass.5* ; – il s'est constitué une première cellule de $MQ2$, solidement structurée, mais pour le seul cas particulier de la catégorie des microétats $me(prog.Is)_{G_n cch-q}$ progressifs et sans champ quantique.

L'existence de cette cellule agira désormais comme un nouvel élément de référence, qui s'associe à IMQ .

Mais précisément à la lumière de cette structure de référence supplémentaire, il apparaîtra juste ci-dessous que le domaine de pleine pertinence d'un cadre mathématique hilbertien consiste en, *exclusivement*, la catégorie des microétats progressifs sans champ quantique.

7.5. Le problème soulevé par un microétat progressif avec champ quantique et une solution dans $MQ2$ vers une théorie des mesures à validité générale

7.5.1. Impasse de codabilité et de vérifiabilité dans MQ_{HD} pour les microétats progressifs avec champ quantique

Avec le passage à des microétats qui impliquent des champs quantiques, dès le tout premier pas le développement constructif amorcé dans 7.4.2 se trouve arrêté devant un obstacle insoupçonné et radical.

Des contenus de 6.6 il ressort clairement que l'*entière* formalisation MQ_{HD} est soutenue par la présupposition implicite que :

Pour tout microétat me_G il est possible de produire une succession de mesure $[G.Mes_c(\mathbf{A})]$ qui soit codante au sens de la relation

$$[(G \rightarrow me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)}).Mes_c(\mathbf{A}))(me_{G,exi}(a(x,t)e^{i\phi(x,t)})] \rightarrow_{H(A)} me_{G,exi}(e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle) \quad (9)$$

qui engendre pour l'exemplaire mis en jeu $me_{G,exi}$ du microétat étudié, un état propre $e^{i\phi(x,t)} |u_j(x, a_j)\rangle$ de l'observable \mathbf{A} mesurée, dont le support d'espace Δx_j code au

sens du postulat $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ par son emplacement dans l'espace public.

Cette présupposition est organiquement incorporée à l'entier système algorithmique hilbertien de MQ_{HD} (équation pour ket et valeurs propres de \mathbf{A} , décomposition spectrale du ket d'état correspondant $|\Psi_G(t)\rangle$, le théorème de Gleason, le postulat de Born, etc.).

En outre, la suite des assertions et des arguments re-constructifs de MQ_2 , contenus dans 7.3 et 7.4, est toute entière fondée sur cette même présupposition de MQ_{HD} , explicitée et assainie.

Or en fait :

La succession de mesure codante (9) est dépourvue d'une validité générale.

Lorsqu'on sort de la catégorie $me(prog.Is)_{G_nceh.q}$ des microétats progressifs sans champs quantique et l'on aborde la catégorie des microétats $me(prog.Is)_{G_{comp-ch.q}}$ qui comportent un champ quantique non-nul, le mode de codage représenté dans la relation (9) est non-réalisable factuellement, et les prévisions exprimées par le formalisme de MQ_{HD} sont **non-vérifiables**. Pour montrer cela nous considérerons le cas le plus évident des microétats progressifs de 1 seul microsystème, à opération de génération composée.

Soit un microétat $me(prog.Is)_{G_{comp-ch.q}}$. Dans 2.2.4 nous avons examiné l'expérience des trous d'Young. Le microétat considéré dans 2.2.4 a été reconsidéré dans 7.2.2.2 en relation avec le concept de 'fonction d'état'. Il illustre de manière paradigmatique la catégorie générale de microétats $me(prog.Is)_{G_{comp-ch.q}}$ progressifs et avec champ quantique. Ce microétat est représenté par un ket d'état de superposition (mathématique)

$$|\Psi_{G(G_1, G_2)}(x, t)\rangle = \lambda_1 |\Psi_{G_1}(x, t)\rangle + \lambda_2 |\Psi_{G_2}(x, t)\rangle. \quad (2)$$

Supposons que les champs macroscopiques extérieurs sont nuls dans la région d'espace où évolue ce microétat, et supposons qu'on veuille mesurer la composante \mathbf{P}_x de l'observable \mathbf{P} de quantité de mouvement, dont les ket propres $|u_{xj}\rangle$ sont des ondes planes associées à des valeurs propres correspondantes p_{xj} . Donc le hamiltonien qui commute avec \mathbf{P}_x est sans terme potentiel :

$$\mathbf{H}(\mathbf{P}_x) = -(\hbar/2\pi)^2 (d^2/dx^2) \quad (22)$$

Donc la procédure de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ (6.6.3.2) consisterait dans ce cas à laisser un exemplaire $me_{G_{12}, exi}$ du microétat $me_{G_{12}}$ représenté par le ket d'état $|\Psi_{G(G_1, G_2)}(x, t)\rangle$ évoluer librement durant chacune des successions de mesure (9) – qui ci-dessous sont réécrites spécifiquement pour $me_{G_{12}, exi}$ – afin d'obtenir ainsi un ket propre de \mathbf{P}_x sur une région d'espace physique spécifique d'une valeur propre p_{xj} et une seule :

$$[(G \rightarrow me_{G_{12}, exi}(a(x, t)e^{i\phi(x, t)}). Mes_c(\mathbf{P}_x(me_{G, exi}(a(x, t)e^{i\phi(x, t)}))] \rightarrow_{\mathbf{H}(\mathbf{P}_x)} me_{G_{12}, exi}(e^{i\phi(x, t)} |u_j(x, p_{xj})\rangle) \quad (9')$$

Or des évolutions de la forme (9') ne produisent jamais pour un exemplaire $me_{G_{12}, exi}$ – à une distance et durée finies – un ket propre de \mathbf{P}_x : il s'agit d'un **fait** de nature factuelle-formelle. Il s'ensuit que des supports d'espace Δx_j – délimités et mutuellement disjoints – des probabilités de présence, liés chacun spécifiquement et quasi-exclusivement à une valeur p_{xj} caractérisée par le même indice j (6.6.2), n'émergent pas non plus. Il n'y a donc plus codabilité au sens de $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$.

Les successions de mesure (9'), solidaires du cadre représentationnel hilbertien de MQ_{HD} , sont dépourvues de correspondant factuel lorsqu'il s'agit d'un microétat progressif à champ quantique non-nul. *Donc, via le formalisme hilbertien de MQ_{HD} , les prévisions tirées du ket d'état $|\Psi_{G(G_1, G_2)}(x, t)\rangle$ ne sont pas vérifiables.*

Et notons tout de suite que par voie de conséquence, qu'il n'y a plus, non plus, *constructibilité factuelle* dans $MQ2$ du ket d'état, au sens de Ass.2 (7.4.3).

La généralité de la validité du cadre hilbertien de représentation mathématique de MQ_{HD} , se trouve sur la sellette. Et en outre, le développement de $MQ2$ est bloqué.

Pour les microétats $me(prog.Is)_{G_{n,ceh,q}}$ nous avons réussi dans 7.4 une intégration claire dans le schéma hilbertien [(observable **A**)-(ket et valeurs propres de A)-(décomposition spectrale)-(Gleason)] posé dans MQ_{HD} , une intégration à la fois conceptuelle et factuelle. Mais les microétats de la catégorie $me(prog.Is)_{G_{comp-ch,q}}$ qui comportent un champ quantique non-nul, échappent à cette intégration, faute d'un postulat de codage qui soit opérationnel. Ce fait, et ses conséquences, restent inapparents dans MQ_{HD} , notamment parce que la codabilité selon $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ n'y est supposée qu'implicitement, et, a fortiori, sa validité générale est restée incontrôlée.

En ces conditions, soit l'on identifie à l'intérieur de $MQ2$ une autre possibilité d'accomplir des évolutions individuelles de mesure codante pour les microétats progressifs à champ quantique, différentes de celles de (9'), soit, pour le moment du moins, on n'est tout simplement pas capables d'offrir des prévisions vérifiables pour *toute* catégorie de microétats.

Détaillons la situation à fond, car son importance est fondamentale.

Partons de IMQ . Considérons l'arbre de probabilités $T(G_{12}, V_M)$ d'un microétat $me_{G_{12}}$ à opération de génération composée G_{12} (2.6.2.2). Nous avons mis en évidence que pour le microétat $me_{G_{12}}$ qui est posé émerger dans le tronc d'un tel arbre, l'on est conduit factuellement à assigner à l'événement [enregistrement de la valeur a_j de la grandeur mécanique A] une probabilité dénotée $p_{12}(a_j)$ qui (en général) s'avère par observation directe être *différente* de la somme $p_1(a_j) + p_2(a_j)$ des probabilités $p_1(a_j)$ et $p_2(a_j)$ qui apparaîtraient concernant ce même événement, via les deux arbres séparés $T(G_1, V_M)$ et $T(G_2, V_M)$ qu'engendreraient, respectivement, les réalisations *séparées* de G_1 et G_2 , mais qui ne sont *pas* effectivement réalisées lorsque l'opération G_{12} produit le microétat $me_{G_{12}}$:

$$p_{12}(a_j) \neq p_1(a_j) + p_2(a_j)$$

On a tendance à expliquer cette non-additivité en imaginant plus ou moins implicitement que les deux microétats me_{G_1} et me_{G_2} 'interagissent' ou 'interfèrent' – physiquement – 'dans' le microétat $me_{G_{12}}$ crée par l'opération de génération composée G_{12} . Mais en fait ces deux microétats n'existent pas d'une manière physiquement individualisée à l'intérieur du microétat dénoté $me_{G_{12}}$. L'*unique* microétat effectivement réalisé par G_{12} est celui dénoté $me_{G_{12}}$ ¹⁹⁵.

¹⁹⁵En outre notons que la relation de un-à-un posée par la décision méthodologique DM (2.2.3) implique elle aussi que les microétats me_{G_1} et me_{G_2} n'existent jamais entièrement accomplis 'dans' $me_{G_{12}}$; selon DM aussi, l'*unique* microétat effectivement réalisé par G_{12} est l'état dénoté $me_{G_{12}}$.

Par contre, il reste que le microétat à génération composée $me_{G_{12}}$ appelle naturellement une *référence* aux microétats me_{G_1} et me_{G_2} qui sont possibles séparément ; il appelle une comparaison avec eux.

Passons maintenant dans MQ_{HD} . Là, comme on l'a déjà fortement souligné à maintes reprises, les opérations G de génération de microétats individuels – qui dans IMQ jouent un rôle tellement fondamental – ne sont pas représentées. Elles n'y sont même pas définies. L'on y représente directement les 'événements' observables. Et ceux-ci ne sont eux-même représentés que via des valeurs 'propres' a_j de l'observable A considérée, abstraites, numériques, qui sont *postulées* 'émerger' *Deus ex machina*. Pourtant il ne s'agit pas d'événements physiques qui peuvent émerger de manière physique, ces valeurs numériques abstraites sont des construits conceptuels. Mais dans MQ_{HD} le physique et l'abstrait sont tout simplement identifiés. Corrélativement, le problème du codage en termes d'une valeur propre a_j , des marques physiques observables produites par une évolution factuelle de mesure, est entièrement ignoré, annihilé dans l'identification mentionnée.

En outre dans MQ_{HD} l'on *postule* également les probabilités de ces 'événements' postulés ' a_j ' : un empilement de postulations d'abstractions. Et lorsqu'il s'agit d'autres observables que celle de position¹⁹⁶, ces probabilités 'prévisionnelles', à leur tour, n'ont *rien* de factuel elles non plus, on les calcule conformément au *postulat* de Born.

Et pour un microétat $me(prog.Is)_{G_{comp-ch.q}}$ on ne peut pas vérifier la 'prévision'. Donc on y croit seulement, d'ailleurs sans savoir qu'il ne s'agit que d'une croyance.

L'entière représentation est édifiée d'une manière radicalement coupée de la factuelité.

Détaillons. Imaginons la phase de l'histoire de la microphysique au cours de laquelle l'on recherchait une représentation mathématique convenable d'une 'mécanique des microétats'. À cette époque là, les constatations directes concernant les enregistrements de position obtenus pour un microétat généré par une opération de génération du type de celle de l'expérience d'Young, ont dû fortement contribuer au choix d'espaces de représentation mathématique *vectoriels*, sur les éléments desquels agissent des opérateurs linéaires, notamment des 'observables' A à valeurs propres a_j représentant les valeurs des grandeurs mécaniques classiques A . On peut s'en rendre compte clairement en utilisant le langage de IMQ où les opérations de génération d'un microétat interviennent de façon explicite.

Soit un espace vectoriel V . Par la définition de ce concept mathématique, les éléments ε de V sont soumis à un axiome de superposition : si ε_1 appartient à l'espace V et ε_2 appartient à l'espace V , alors toute combinaison linéaire $\varepsilon_{12} = \lambda_1 \varepsilon_1 + \lambda_2 \varepsilon_2$ où λ_1 et λ_2 sont des coefficients numériques, appartient elle aussi à V . Donc si tout microétat me_G est représenté par un élément ε de V , le représentant mathématique d'un microétat $me_{G_{12}}$ à génération composée peut être choisi dans la famille des superpositions $\varepsilon_{12} = \lambda_1 \varepsilon_1 + \lambda_2 \varepsilon_2$, en notant le représentant de me_{G_1} par ε_1 et celui de me_{G_2} par ε_2 ; quant aux valeurs des coefficients numériques λ_1 et λ_2 , elles doivent être choisies de manière à singulariser le représentant du microétat $me_{G_{12}}$ d'une façon compatible à la fois avec les paramètres macroscopiques qui définissent l'opération physique $G_{12}(G_1, G_2)$ ¹⁹⁷ de génération de $me_{G_{12}}$,

¹⁹⁶L'observable de position tient une place à part, parce que pour elle les successions de mesure (9°) dégènerent en une trivialité, cependant que les enregistrements de position construisent une figure d'interférence que l'on *voit*. Et ceci crée confusion.

¹⁹⁷Soulignons de nouveau un fait déjà fortement souligné dans IMQ : l'opération de génération dénotée $G_{12}(G_1, G_2)$, bien que, physiquement, elle soit construite en '*composant*' les deux opérations G_1 et G_2 , qui peuvent aussi être produites séparément, n'*est pas* pour autant une 'superposition' au sens mathématique. Les superpositions mathématiques sont des propriétés mathématiques dont on munit par axiome certains éléments de certaines structures mathématiques. Et

et avec une condition de normation statistique-probabiliste. Ainsi le microétat à génération composée $me_{G_{12}}$ acquiert dans V une représentation par une superposition *mathématique* linéaire des représentants dans V de me_{G_1} et de me_{G_2} . Cela paraît très convenable, d'autant plus que les mathématiques linéaires sont les plus faciles à manier.

Mais ceci n'est 'convenable' qu'à condition de pouvoir également, et d'une manière cohérente, représenter mathématiquement d'une façon *vérifiable* par l'expérience, la *probabilité prévisionnelle* $p_{12}(a_j)$ pour que l'événement a_j apparaisse lors d'une mesure d'une grandeur A représentée par l'observable \mathbf{A} , opérée sur le microétat à génération composée $me_{G_{12}}$.

C'est là qu'intervient le fait d'observation directe qu'en général la probabilité $p_{12}(a_j)$ n'est pas une superposition additive des probabilités $p_1(a_j)$ et $p_2(a_j)$. Et c'est là précisément que semble s'imposer en tant qu'un choix véritablement approprié pour la représentation mathématique des microétats, le choix d'un espace vectoriel Hilbert de ket d'état $|\Psi\rangle$, \mathcal{H} , plongé dans un espace Hilbert généralisé \mathcal{E} qui admet l'incorporation de ket propres $|u_j\rangle$. Car ce choix permet :

- D'une part, la représentation mathématique des statistiques des résultats de mesures opérées sur un microétat¹⁹⁸, par une superposition *linéaire* des ket d'état $|\Psi_{G_1}(x,t)\rangle$ et $|\Psi_{G_2}(x,t)\rangle$ qui représenteraient dans \mathcal{H} , respectivement, les microétats me_{G_1} et me_{G_2} que produiraient les opérations de génération G_1 et G_2 , *si* ces opérations étaient accomplies *séparément*.

- D'autre part, une représentation mathématique – définie numériquement cette fois – de l'inégalité $p_{12}(a_j) \neq p_1(a_j) + p_2(a_j)$ constatée expérimentalement.

En effet : Si V est un espace Hilbert généralisé \mathcal{E} de ket d'état $|\Psi\rangle$ de \mathcal{H} et de ket propres $|u_j\rangle$, où la statistique de toutes les mesures d'observables quantiques opérées sur le microétat étudié $me_{G_{12}}$ peut être représentée par la superposition mathématique

$$|\Psi_{12,G_{12}}(x,t)\rangle = \lambda_1 |\Psi_{1,G_1}(x,t)\rangle + \lambda_2 |\Psi_{2,G_2}(x,t)\rangle \quad (2)$$

alors la décomposition spectrale de $|\Psi_{12,G_{12}}(x,t)\rangle$ sur la base dans \mathcal{E} , $\{|u_j\rangle\}, j = 1, 2, \dots$, des ket propres de l'observable \mathbf{A} mesurée sur $me_{G_{12}}$, est :

$$|\Psi_{12,G_{12}}(x,t)\rangle = \sum_j c_{j12} |u_j\rangle = \lambda_1 \sum_j c_{j1} |u_j\rangle + \lambda_2 \sum_j c_{j2} |u_j\rangle = \sum_j (\lambda_1 c_{j1} + \lambda_2 c_{j2}) |u_j\rangle$$

Donc l'application du théorème de Gleason et du postulat général de Born $p(a_j) = |\langle u_j | \Psi \rangle|^2 = |c_j|^2$, conduisent pour $p_{12}(a_j)$ à une expression prévisionnelle de la forme :

$$p_{12}(a_j) = |\lambda_1 c_{j1} + \lambda_2 c_{j2}|^2 = |\lambda_1 c_{j1}|^2 + |\lambda_2 c_{j2}|^2 + \lambda_1 c_{j1} (\lambda_2 c_{j2})^* + (\lambda_1 c_{j1})^* \lambda_2 c_{j2} \quad (23)$$

une structure mathématique dotée d'un axiome de superposition peut être choisie pour représenter certains éléments qui interviennent dans des descriptions d'entités ou faits physiques ; le choix pouvant s'avérer par la suite pertinent, ou non-pertinent. Cependant que l'opération de génération $G_{12}(G_1, G_2)$ – comme toute opération G de génération définie dans IMQ , est tout simplement dépourvue pour l'instant de toute représentation mathématique. Et c'est ainsi également qu'elle est utilisée, pour l'instant, pour la construction de $MQ2$. Car pour l'instant, nous ne disposons pas encore, ni de données expérimentales suffisantes, ni d'une réflexion conceptuelle suffisante, pour introduire une représentation mathématique des opérations G de génération d'un microétat qui puisse couvrir toutes les possibilités, ne pas les mélanger, etc. (une algèbre appropriée) : la question est à la fois essentielle et délicate. Mais rien n'interdit d'utiliser le concept sans le représenter mathématiquement. N'oublions pas que dans MQ_{HD} les microétats individuels et physiques qui sont *les entités même que l'on étudie*, non seulement ne sont pas représentés mathématiquement eux-mêmes (ils sont représentés exclusivement à travers des statistiques de résultats de mesures accomplies sur eux-mêmes), mais en outre, ils ne sont même pas définis, ni symbolisés.

¹⁹⁸ Celles qui dans IMQ ont été représentées par le symbole $[(D_M^t(me_{G_{12}}) \equiv \{p^t(G, X_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), MIP(me_{G_{12}})]$.

où les définitions Gleason-**Born** $p_1(a_j) = |c_{j1}|^2$, $p_2(a_j) = |c_{j2}|^2$ et $p_{12}(a_j) = |c_{j12}|^2$ sont compatibles avec l'inégalité $p_{12}(a_j) \neq p_1(a_j) + p_2(a_j)$ observée expérimentalement, puisque l'on a $|c_{j12}|^2 \neq |c_{j1}|^2 + |c_{j2}|^2$ à cause des 'termes d'interférence' (*mathématique*).

Mais le fait que (23) est *compatible* avec l'inégalité $p_{12}(a_j) \neq p_1(a_j) + p_2(a_j)$ n'entraîne pas que l'expression (23) est *factuellement vraie en tant qu'une égalité numérique*.

Cependant que :

La prévision (23) *n'est pas vérifiable à l'intérieur de la formalisation hilbertienne de MQ_{HD}* , en conséquence de la non-validité pour un microétat $me_{G_{12}}$, de la procédure de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ et de l'absence de toute autre définition d'une évolution de mesure codante pour les valeurs de l'observable fondamentale \mathbf{P} de quantité de mouvement que l'on sache *définir* à l'intérieur de MQ_{HD} .

Voilà explicité le problème.

Mais alors, que faire ? Faire confiance aux prévisions calculées selon l'expression (23) *sans jamais savoir si elles sont vraies ou pas* ? Ce serait une décision inconfortable à prendre à l'intérieur d'une théorie physique. Et d'autant plus à l'intérieur d'une théorie physique qui concerne des états d'entités microscopiques que personne ne perçoit directement, cependant que (23) y exprime les prévisions qui concernent la grandeur *fondamentale* de quantité de mouvement, qui est impliquée dans les définitions de toutes les autres observables quantiques, sauf celle de position.

Néanmoins, examinons cette option de confiance, afin d'élucider jusqu'au bout la situation conceptuelle.

L'expression (23) est dépourvue de relation factuelle avec le microétat étudié $me_{G_{12}}$, donc aussi avec le ket d'état correspondant $|\Psi_{\mathbf{G}(\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2)}(x, t)\rangle$. Cette expression mathématique n'a même pas une relation seulement conceptuelle avec le microétat étudié $me_{G_{12}}$ lui-même, qui soit une relation *directe*. La relation de l'expression (23) avec le ket d'état $|\Psi_{\mathbf{G}(\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2)}(x, t)\rangle$ découle *exclusivement* du choix de représenter toutes les statistiques prévisionnelles qui concernent un microétat quelconque, dans un espace de Hilbert généralisé.

Les probabilités prévisionnelles $p_1(a_j)$ et $p_2(a_j)$ de (23), liées aux deux ket de référence $|\Psi_{1, G_1}\rangle$ et $|\Psi_{2, G_2}\rangle$, correspondent à des microétats me_{G_1} et me_{G_2} du type $me(prog. Is)_{G_n ch. q.}$. Pour ces microétats, de référence, des successions de mesure codantes de la forme (9), sont en effet possibles, séparément. Et cela en effet rattache – conceptuellement – les ket de référence $|\Psi_{1, G_1}\rangle$ et $|\Psi_{2, G_2}\rangle$, au schéma hilbertien [(observable \mathbf{A})-(ket et valeurs propres de \mathbf{A})-(décomposition spectrale)-(Gleason)]. Mais :

Les successions de mesure codantes (9) sur les microétats de référence me_{G_1} et me_{G_2} séparés, n'ont aucun lien factuel *défini* avec des successions de mesure (9') sur le microétat étudié $me_{G_{12}}$ représenté par le ket d'état $|\Psi_{12, G_{12}}\rangle$.

Car les deux microétats de référence me_{G_1} et me_{G_2} , progressifs et sans champ quantique, ne sont pas physiquement individualisés 'dans' le microétat étudié $me_{G_{12}}$ de la catégorie $me(prog. Is)_{G_{comp. ch. q.}}$. Des exemplaires $me_{G_1, exi}$ et $me_{G_2, exi}$ de ces deux microétats de référence n'interviennent pas dans un exemplaire $me_{G_{12}, exi}$ du microétat étudié $me_{G_{12}}$

d'une manière individualisée physiquement, ils n'y interviennent qu'*imaginés* d'une façon telle qu'elle mélange leurs ondes et produit un champ quantique.

Rien de ce qui est représenté dans (23) n'est relié factuellement aux exemplaires $me_{G_{12},exi}$ du microétat étudié $me_{G_{12}}$ lui-même. L'écriture (23) est un vol formel au dessus de $me_{G_{12}}$. Ce n'est qu'une extension inertielle d'un formalisme qui – visiblement – a initialement été conçu exclusivement pour des microétats de la catégorie $me(prog.Is)_{G_n,ceh,q}$.

On a glissé subrepticement dans une microphysique de fiction.

Alors *sur quelle base* accorderait-on confiance aux prévisions exprimées par l'expression (23), ou bien les rejetterait-on ? Sur quelle base, en l'absence de vérifiabilité ?

Contre cette dernière question, véritablement, on reste immobilisé. On doit s'arrêter et constater que MQ_{HD} n'offre aucune définition dotée de signification factuelle, pour le concept mécanique fondamental de quantité de mouvement, que l'on puisse associer à un microétat progressif avec champ quantique.

En amont, et plus radicalement :

Le formalisme de MQ_{HD} ne définit pas explicitement les champs quantiques.

Il ne définit explicitement que les champs classiques impliqués par l'opérateur hamiltonien quantique H construit à partir du concept *classique* d'énergie totale 'hamiltonienne'. Les champs quantiques n'interviennent dans MQ_{HD} que d'une manière implicite. Et les effets physiques de ces champs ne sont gérés que par les effets formels du type de ceux de (23) ; des effets non vérifiables, d'écritures de superposition mathématique qui ne sont pas directement connectées aux champs quantiques impliqués.

Ainsi, via le problème méconnu des successions de mesure codantes, la déconnexion générale du formalisme de MQ_{HD} , de la strate de conceptualisation individuelle des microétats, conduit finalement à mettre en examen la capacité d'un cadre mathématique d'espaces de Hilbert de représenter d'une manière 'scientifique' toutes les catégories de microétats.

L'empereur ' MQ_{HD} ' à l'air de parader en caleçon.

Et d'autre part le processus de construction de MQ_2 est bloqué.

7.5.2. Principe d'une expérience qui peut débloquer l'action de construction de MQ_2

7.5.2.1. Une voie de principe

Comment réagir ? L'unique réaction qui nous vient à l'esprit est la suivante.

Pour la catégorie des microétats progressifs $me(prog.Is)_{G_{comp},ch,q}$ qui impliquent un champ quantique non-nul, arriver à introduire une définition conceptuelle-factuelle de la grandeur de quantité de mouvement p , *différente* de celle de 4.5.1 qui est liée à la notion MQ_{HD} d'état propre de l'observable P de quantité de mouvement. Une définition telle que :

- en quelque sens bien défini, elle *justifie* l'usage de la dénomination classique de 'quantité de mouvement' ;

- elle puisse être associée à des successions de mesure *codantes* du type général

$$[(G \rightarrow me_{G_{comp},exi}).Mes_c(\mathbf{A})(me_{G_{comp},exi})]$$

exigé par *IMQ*.

Ces exigences conduisent à l'idée d'examiner – en tant qu'un candidat au rôle de définir une succession de mesure de mesure codante pour la grandeur fondamentale de quantité de mouvement \mathbf{p} – la loi de guidage de Louis de Broglie

$$\mathbf{p}(x, y, z, t) = -grad.\Phi(x, y, z, t) = -(\mathbf{i}\partial/\partial x + \mathbf{j}\partial/\partial y + \mathbf{k}\partial/\partial z)\Phi(x, y, z, t) \quad (24)$$

Cette loi sous-tend l'entière représentation *ddb* des microphénomènes (où $a(x, y, z, t)e^{i\Phi(x, y, z, t)}$ est la fonction d'onde de l'exemplaire $me_{G,exi}$ physique et individuel du microétat étudié¹⁹⁹). Elle tient compte explicitement des champs quantiques microscopiques. Et Louis [de Broglie, 1956, pp. 101–104] a déduit cette loi de la formulation de Jacobi de la mécanique classique, par une extrapolation au delà de l'approximation de l'optique géométrique²⁰⁰. Enfin, la loi (24) est affirmée dans *ddb* en toute généralité, i.e. aussi bien lorsque le champ quantique

$$\Delta a(x, t)/a(x, t) \quad (25)$$

est non-nul, que lorsqu'il est nul. Ceci semble important.

D'ailleurs la représentation *ddb* a déjà joué un rôle notable dans le chapitre 6 et dans 7.4. Elle a offert le réservoir de pensée modélisante à partir duquel nous avons pu identifier la signification spécifique du concept de ket propre d'une 'observable' quantique. Nous avons extrait de ce même réservoir le postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ (6.2.2). À partir du postulat modélisant $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ nous avons pu distinguer entre le concept *IMQ* de microétat étudié me_G , et des exemplaires individuels me_{Gexi} de celui-ci. Et c'est cette avancée qui nous a permis de formuler clairement le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ et la forme fondamentale (9) que ce postulat entraîne dans *MQ2* pour le concept *IMQ* d'une succession de mesure $[G.Mes(A)]$.

La représentation *ddb* se trouve donc d'ores et déjà impliquée dans l'action développée ici, de construction d'une deuxième mécanique quantique. Il est cohérent d'y faire recours une fois de plus.

7.5.2.2. Une preuve de compatibilité entre la représentation de Broglie des microphénomènes et l'observabilité des traces de guidage

Toutefois l'idée de définir à l'aide de la loi de guidage (24) de Louis de Broglie, une succession de mesure codante de la grandeur de quantité mouvement qui soit applicable aux microétats auto-interférents de la catégorie $me(\text{prog. } Is)_{G\text{comp-ch.q.}}$, se heurte d'emblée à une croyance installée depuis plus de 50 ans selon laquelle la représentation *ddb* ne serait qu'une interprétation de *MQ_{HD}*, en ce sens qu'elle ne comporterait aucune spécificité observable. Notamment – sur la base de raisonnements de Bohm lui-même ([1951]²⁰¹) liés à la notion de complémentarité de Bohr – l'on admet qu'il n'est pas possible d'enregistrer

¹⁹⁹ À ne pas confondre avec la fonction d'état statistique qui figure dans le ket d'état $|\Psi_G(x, t)\rangle = |a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}\rangle$ de *MQ_{HD}* correspondant au 'microétat me_G ' (7.2.1).

²⁰⁰ Sur la base de cette extrapolation l'évolution Schrödinger de mesure de (8) réalisée par un hamiltonien classique qui conserve la valeur initiale a_j de A (inconnue) devrait pouvoir être rattachée à une fonction d'onde individuelle, de ket propre de A , via la mécanique classique, comme il a été supputé dans 6.6.3.2.

²⁰¹ Plus généralement, la réinterprétation de Bohm [1952] ne met pas l'accent sur les évolutions 'mécaniques' d'une singularité à caractères 'corporels' dans l'amplitude de l'onde d'un microétat.

une trace de guidage pour un microétat d'auto-interférence, parce que dès la première interaction d'ionisation la différence de phase qui structure l'interférence (et donc l'existence de champs quantiques non-nuls), serait détruite.

Or déjà depuis longtemps cette idée, affirmée sur la base de raisonnements qualitatifs et absolus – sans analyser les valeurs des paramètres qui définissent les relations entre les effets des forces coulombiennes d'ionisation et les forces quantiques qui interviennent – m'a paru être non-fondée. Pour cette raison j'avais entrepris de démontrer (MMS [1968a]) que :

À l'intérieur de la théorie de la double solution de Louis de Broglie l'assertion que la trace produite par la singularité 'corporelle' guidée est *observable*, est *compatible* d'un point de vue conceptuel-mathématique avec la loi de guidage (24). Par conséquent la théorie de la double solution n'est pas une interprétation de MQ_{HD} , mais une théorie différente des microétats.

Dans ce qui suit j'indique seulement l'essence de la démonstration mentionnée²⁰². Soit un microétat d'électron me_{Go} de la catégorie $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$ et ayant la structure maximale simple indiquée dans la figure 6.

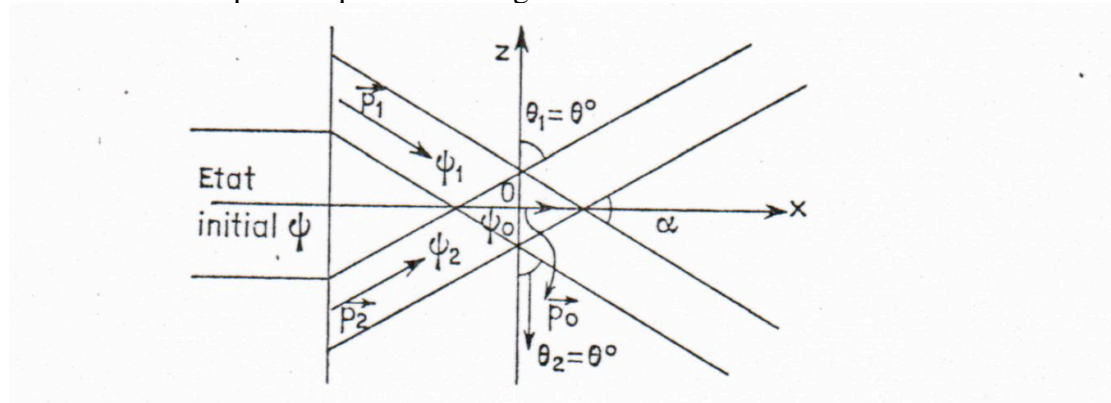


Fig. 6

L'on part d'un microétat initial (précurseur) dont la fonction d'état Ψ est un paquet d'ondes pratiquement équivalent à une onde plane. Ce microétat précurseur rencontre un dispositif diviseur du front d'onde qui en crée un microétat me_{Go} dont la fonction d'onde consiste en deux paquets d'ondes pratiquement plans de fonctions d'onde, respectivement, Ψ_1 et Ψ_2 , dont les directions de propagation forment entre elles un angle α et des angles de même valeur absolue θ avec l'axe θ_z de la figure. Ces deux paquets se superposent en une région d'espace confortablement grande où se constitue ainsi un microétat d'auto-superposition me_{Go} que l'on veut étudier. Soit $|\Psi_{Go}\rangle$ le ket d'état associé à me_{Go} sur le domaine d'espace-temps où se réalise la superposition. Sur ce domaine d'espace-temps le

²⁰²Un texte beaucoup plus explicite se trouve dans l'annexe. Un texte encore plus développé mais jamais publié, est également disponible. La structure du microétat a été choisie pour sa simplicité conceptuelle maximale. Mais une fois que l'observabilité de principe d'une trace de guidage, dans une zone d'auto-interférence d'un microétat progressif est établie, un enregistrement expérimental d'une telle trace peut être organisé en tant qu'un acte de mesure de la quantité de mouvement, applicable à tout microétat, notamment de *neutron*, ce qui supprimerait les effets électromagnétiques. Je souligne qu'à l'époque où cette recherche a été accomplie je ne distinguais pas clairement entre fonction d'onde individuelle et fonction d'état. Mais : (a) Dans le cas considéré, les deux concepts s'identifient, à l'existence près d'une singularité dans l'amplitude lorsqu'il s'agit de la fonction d'onde individuelle (voir 7.2.2.2). (b) Dans le texte ci-dessous il s'agit de la fonction d'onde individuelle.

ket d'état a la forme :

$$|\Psi_{Go}\rangle = |\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle = \sqrt{2} \cos(2\pi(v/V) \cos \theta_z + \delta/2) e^{2\pi i v(t - (x/V \sin \theta))} e^{i(\delta/2)} \quad (26)$$

où δ désigne la différence de phase. Face au référentiel de la figure 5, la loi de guidage donne pour la vitesse de la singularité à caractères corpusculaires dans l'amplitude de la fonction d'onde Ψ_{Go} les composantes :

$$v_x = v_0 \sin \theta = \text{const}, v_y = v_z = 0 \quad (27)$$

Donc la quantité de mouvement de guidage \mathbf{p} a les composantes :

$$p_x = Mv_x = Mv_0 \sin \theta, p_y = p_z = 0 \quad (28)$$

où M est la 'masse quantique' de l'électron, au sens de *dB*B (L. de Broglie [1956]).

L'on peut montrer que la valeur (28) de la quantité de mouvement de guidage est observable *si l'on domine de manière adéquate les paramètres expérimentaux* :

L'effet des interactions coulombiennes ionisantes entre la singularité à aspects corpusculaires de l'onde du microétat me_{Go} , et des molécules d'un milieu sensible, ensemble avec les forces quantiques que ces interactions engendrent, *n'arrivent pas à supprimer la relation de phase si l'énergie cinétique du microétat est suffisamment grande face à l'énergie dépensée lors d'une interaction élastique ou ionisante avec une molécule d'un milieu sensible*. Si cette condition de persistance de la relation de phase est satisfaite, l'existence des champs quantiques persiste elle aussi cependant que la trace de guidage qui matérialise la loi de guidage est observable. Et en ce cas, en organisant convenablement l'emplacement et les dimensions des zones spatiales qui contiennent du milieu sensible, l'on peut répartir convenablement les endroits et le nombre des rencontres entre la singularité à caractères corpusculaire du microétat étudié, avec une molécule de milieu sensible.

L'on peut alors déterminer la quantité de mouvement de (28) en associant la tangente à l'origine de la trace, avec le nombre total des ionisations. Cependant que le premier impact, d'origine de la trace, indique la valeur de position, \mathbf{r} , face au référentiel du laboratoire : *Un tel enregistrement échapperait au principe d'incertitude de Heisenberg* et illustrerait la signification et les limites exactes du théorème correspondant démontré dans *MQHD* (6.4.1 et 6.4.2).

Résumons : Contrairement à des raisonnements développés sous l'empire d'une croyance a-critique dans un principe de complémentarité absolutisé et définitif, selon la représentation *dB*B rien, sur le plan formel et logique, mais *rien* ne s'oppose en principe à l'idée de réaliser l'observation d'une trace de guidage sur un microétat progressif d'auto-interférence.

L'essence de cette même idée se trouve à la base de certaines contributions récentes, théoriques et expérimentales, celles de Aharonov and Vaidman [2007] (théoriques, le concept fondamental de 'weak measurements'), et celles de Aephraim Kocsis et al. [2011], expérimentales, *provent factuellement l'enregistrabilité de traces de photon*.

Ces travaux cassent des préjugés qui sont source de stagnation depuis des dizaines d'années.

7.5.3. Proposition d'une expérience cruciale, 'EXP.1', et un pari

Mais évidemment, seule la réalisation effective d'une expérience appropriée peut établir indiscutablement que la compatibilité conceptuelle-mathématique démontrée plus haut est traductible dans des faits physiques observables.

Dénotons par *EXP.1* une telle expérience, quelle que soit la façon particulière de la réaliser (une interférence Young avec des neutrons assez énergétiques, pourrait s'avérer particulièrement expressive). Je propose toutefois que l'*EXP.1* soit réalisée dans un état du type de celui de la figure 6, pour lequel le calcul de compatibilité est réalisé.

Il est évident que si l'*EXP.1* montre l'observabilité des traces de guidage pour un microétat progressif avec champ quantique, alors cette observabilité est acquise pour *tout* microétat progressif, avec ou sans champ quantique, car pour des microétats progressifs sans champ quantique elle est pratiquée couramment depuis longtemps, notamment en recherches sur des particules élémentaires.

Notons bien que dans le contexte du travail présent l'enjeu du résultat d'une *EXP.1* n'est plus de savoir si oui ou non la représentation *dB* des microphénomènes se réduit vraiment à une simple interprétation de *MQ_{HD}*. Car ici il est apparu que, pour la catégorie des microétats $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$ qui impliquent un champ quantique non-nul, *MQ_{HD}* elle-même est peut-être de *non-vérifiabilité des prévisions affirmées*. C'est donc *MQ_{HD}* qui est ici sur la sellette, et c'est via *dB* que l'on envisage une solution.

L'enjeu lié à la réalisation de EXP.1 consiste en une véritable inversion de la situation admise depuis quelque 50 ans.

Imaginons maintenant que l'*EXP.1* a été réalisée. Cette expérience peut avoir eu deux résultats opposés, avec des conséquences opposées :

- L'*EXP.1* a infirmé l'observabilité de la trace de guidage dans un microétat du type $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$. Dans ce cas l'entreprise présente de construire une nouvelle formulation de la mécanique quantique, s'arrête ici.

- L'*EXP.1* a confirmé l'observabilité de la trace de guidage dans un microétat du type $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$. Dans ce cas émerge immédiatement toute une avalanche de conséquences que nous indiquons ci-dessous d'une manière sommaire.

À partir de ce point du travail présent je fais un pari :

J'admets par hypothèse que l'*EXP.1* a été accomplie et qu'elle a établi que les traces de guidage peuvent être observées dans tout microétat progressif, avec champ quantique, ou sans champ quantique²⁰³.

²⁰³C'est un pari qui me paraît très sûr. En tout cas, il est nécessaire afin de conduire jusqu'à sa fin l'exposé entrepris ici.

7.5.4. Conséquences majeures de l'observabilité présumée des traces de guidage

7.5.4.1. Première conséquence : Définition de successions de mesure codantes pour tout microétat progressif, avec ou sans champ quantique

Commençons par noter que :

L'enregistrement d'une trace de guidage *peut* satisfaire aux exigences générales d'un codage du type $Cod(G, A)$ énoncées dans le cadre de IMQ (2.3.2.3)). Donc une 'évolution de mesure codante' pour un microétat de la catégorie $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$ peut consister en l'enregistrement d'une trace de guidage pour un exemplaire individuel $me_{G,exi}$ du microétat étudié. Et cet enregistrement révélera une valeur vectorielle \mathbf{p}_j de l'observable \mathbf{P} de quantité de mouvement.

Nous comblons donc la lacune laissée par le fait que le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ n'est pas applicable pour des microétats à champ quantique non-nul, en introduisant pour les microétats $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$ les définitions suivantes :

* L'évolution de mesure de p comportée par l'enregistrement d'une trace de guidage peut être dénotée par

$$Mes_c(\mathbf{P})[me_{Gcomp,exi}(a(x, y, z, t)e^{i\phi(x, y, z, t)})] \rightarrow_{tr.guid.obs.} \mathbf{p}_j(x, y, z, t) \quad (8')$$

où : $a(x, y, z, t)e^{i\phi(x, y, z, t)}$ représente la fonction d'onde de Broglie de l'exemplaire individuel $me_{Gcomp,exi}$ du microétat me_{Gcomp} étudié ; 'tr.guid.obs.' se lit : trace de guidage observable ; et $-\mathbf{grad}.\phi(x, y, z, t) = \mathbf{p}_j(x, y, z, t)$.

*Alors 'une succession de mesure codante' pour les valeurs de \mathbf{P} , peut être écrite sous la forme

$$[(G \rightarrow me_{G,exi}).Mes_c(\mathbf{P})(me_{G,exi})] \rightarrow_{tr.guid.obs.} \mathbf{p}_j(x, y, z, t) \quad (9'')$$

(L'on peut écrire simplement $[G.Mes_{guid}\mathbf{P}]$).

7.5.4.2. Deuxième conséquence : Vérifiabilité des prévisions (23) face à (9'')

La définition (9'') permet de *vérifier* la vérité factuelle de la prévision (23), face à la statistique qui est obtenue en l'utilisant.

Cette vérification constituerait une deuxième expérience, dénotons-la *EXP.2*.

Il est vraisemblable que l'on trouve que la prévision (23) est factuellement vraie, bien que la représentation hilbertienne de MQ_{HD} n'offre pas une définition de succession de mesure codante qui en assure la vérifiabilité.

Si effectivement la statistique produite par des évolutions de mesure (9''), confirmait la prévision MQ_{HD} de la forme (23), alors le formalisme hilbertien de MQ_{HD} – malgré la non-réalisabilité factuelle de successions de mesure codantes (9') construites à l'intérieur de ce formalisme – pourrait être conservé en tant qu'un algorithme prévisionnel 'abstrait'.

En ce cas il deviendrait très intéressant d'un point de vue conceptuel de comparer la structure cachée de (23) (les implication du mode d'y calculer les termes d'interférence mathématique), avec les calculs qui conduisent à la loi de guidage à l'intérieur de la représentation *dBB*. L'on pourrait peut-être établir que – en certaines conditions particularisantes

– il y a compatibilité mathématique entre les prévisions (23) obtenues par l’approche hilbertienne de MQ_{HD} , foncièrement postulatoire, opérationnelle, non-explicative, et d’autre part la loi de guidage de Louis de Broglie, obtenue par voie logique-déductive et par relation directe avec la formulation de Jacobi de la mécanique classique.

Ce serait un théorème important.

7.5.4.3. Troisième conséquence : Levée du blocage de l’élaboration de MQ2

Mais même si, au contraire, l’on trouvait par l’*EXP.2* qu’il y a *non-compatibilité* entre les implications factuelles et mathématiques de (23), et d’autre part la déduction de la loi de guidage et ses conséquences statistiques via (9’), le blocage de la construction de $MQ2$ se trouverait *levé* dans l’hypothèse admise ici que la loi de guidage est observable. Car en ce cas il faudrait admettre que la prévision (23) est *factuellement fausse* vis-à-vis du concept (24) de quantité de mouvement, le seul qui soit observable pour les microétats qui impliquent un champ quantique non-nul. Ceci indiquerait que le cadre hilbertien de représentation est *foncièrement* non-valide pour prévoir concernant la quantité de mouvement, dans un microétat à champ quantique.

En tout cas, L’*EXP.2* n’est dotée *que* d’un intérêt conceptuel.

Car une compatibilité purement numérique entre des écritures Hilbert-Dirac du type de (23) et d’autre part des successions de mesure (9’’) factuelles fondées sur la représentation *dB*, ne dispenserait *pas* de la recherche d’une représentation d’évolutions de mesure codantes pour des microétats progressifs avec champ quantique, différente de celle construite dans 7.4 pour les microétats progressifs sans champ quantique : une représentation d’actes de *mesures* doit – foncièrement – être physiquement opérationnelle, factuellement transparente, immédiatement compréhensible. La mésaventure de ‘la théorie des mesures de MQ_{HD} ’ l’aura assez montré.

Ainsi, dès lors que l’on dispose de la définition (9’’) d’une succession de mesure codante, le blocage introduit par la ‘prévision’ non-vérifiable (23) est levé. Mais la construction de $MQ2$ ne peut continuer que dans un cadre mathématique clairement distinct du cadre hilbertien. Ce cadre reste à être spécifié.

7.5.5. Représentation des mesures quantiques sur un microétat progressif à champ quantique non-nul et le problème des prévisions statistiques calculées

7.5.5.1. Contenus de la représentation

Nous pénétrons dans une zone de non-fait. MQ_{HD} cesse d’être vérifiable selon des processus de mesure définis à l’intérieur du formalisme, cependant que dans $MQ2$ nous ne disposons pour l’instant que du développement de 7.4 qui n’est valide que, spécifiquement, pour des microétats $me_{G_{nc}}(prog.Is)_{eh.q}$. Néanmoins le développement de 7.4 offre un terrain de départ aménagé. À savoir, il met en évidence une illustration du fait que l’approche *factuelle* de IMQ telle qu’elle est définie au niveau de conceptualisation *individuelle* des microétats où s’insèrent les évolutions de mesure quantiques, peut être connectée à une représentation mathématique déjà disponible de *la statistique prévisionnelle* liée à un microétat donné. Dans ce qui suit, il suffira d’adapter la démarche de 7.4 afin de délimiter en quelques traits très rapides mais mieux intégrés que dans 7.5.4, une représentation des

mesures quantiques applicable aux microétats $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$ ²⁰⁴.

* Commençons par noter que :

Le ‘problème’ de réduction ne peut même pas être conçu pour des microétats progressifs avec champ quantique.

Le fait que la formalisation Hilbert-Dirac soit insuffisante afin de définir pour la grandeur de quantité de mouvement des évolutions de mesure que l’on puisse incorporer dans des mathématiques linéaires, balaye la question de ‘réduction’.

* Ceci dit, que deviennent, pour des microétats progressifs avec champ quantique, les résultats établis dans 7.4 pour les microétats progressifs sans champ quantique ? En d’autres termes, peut-on représenter formellement dans $MQ2$ les mesures quantiques sur des microétats progressifs avec champ quantique, à l’aide d’évolutions de mesure codantes (9’’) ? La réponse est la suivante.

** Sur la base présumée de la preuve factuelle obtenue par *EXP.1*, de l’observabilité des traces de guidage pour la catégorie des microétats progressifs à champ quantique non nul, et en tenant compte du fait que, en outre, pour la catégorie des microétats progressifs sans champ quantique, l’observabilité d’une trace de guidage est d’ores et déjà bien connue et largement utilisée :

Nous introduisons une procédure de codage de la valeur de la quantité de mouvement p par trace de guidage – dénotons-la $Proc.[Cod.p(tr.guid.)]$ – affirmée être valide pour les mesures de quantité de mouvement opérées sur tout microétat progressif, avec ou sans champ quantique²⁰⁵.

** Partons maintenant de l’expression classique d’une grandeur mécanique classique A comme une fonction $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$ de \mathbf{r} et \mathbf{p} (symétrisée). Factuellement, la valeur \mathbf{r} de la position (face au référentiel du laboratoire) est déterminée par l’impact immédiat sur un milieu sensible, du début de la trace de guidage enregistrée afin de mesurer selon (8’) la ‘valeur de guidage’ de la quantité de mouvement \mathbf{p} .

Dénotons par le symbole $Proc.[Cod.\mathbf{r} - \mathbf{p}(tr.guid.)]$ cette procédure de codage simultané de \mathbf{r} et \mathbf{p} (il a déjà été noté qu’elle échappe au principe de Heisenberg, qui en fait ne concerne pas la mesurabilité simultanée, mais les dispersions *prévisionnelles* (6.4.2)). Elle permet des évolutions de mesure codantes *simultanément*

$$[(G \rightarrow me_{G,exi}).Mes_c(\mathbf{r} - \mathbf{p})(me_{G,exi})] \rightarrow_{r, \text{guid. obs.}} (\mathbf{r}, \mathbf{p}) \quad (9''')$$

²⁰⁴Ce faisant, nous noterons au passage les opérations qui sont valides également pour des microétats $me_{G_n c}(prog.Is)_{ch.q}$. Il se formera ainsi quasi-spontanément une approche valide pour *tout* microétat progressif, donc plus profonde et par cela plus générale que l’approche développée dans 7.4 dans le cadre mathématique Hilbert-Dirac pour la seule catégorie des microétats $me_{G_n c}(prog.Is)_{ch.q}$. Ce sera un nouvel indice important de l’existence de tout un substrat nouveau qu’impose la représentation *DBB* des microphénomènes, et qui précisera considérablement le domaine naturel d’implantation conceptuelle-formelle de $MQ2$.

²⁰⁵Nous disons ‘procédure’ et pas ‘postulat’, parce que le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ permet dans $MQ2$, au lieu de postuler, de *construire* à partir de la formulation de Jacobi de la mécanique macroscopique.

* Soit $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), Mlp(me_G)]$ la symbolisation dans *IMQ* (2.7) du microétat me_G de la catégorie $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, que l'on veut étudier ; elle représente l'ensemble des statistiques établies par voie factuelle via des successions de mesure $[G.Mes(A)]$, supposées codantes (dans *IMQ* ces successions restent non-spécifiées parce que l'opération de mesure et le mode de coder ne sont pas définis). Soit d'autre part $\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}$ la fonction d'état statistique qui représente *le même microétat* me_G dans le cadre de *MQ2*. Indiquons cette correspondance en écrivant explicitement

$$[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A), Mlp(me_G)] \leftrightarrow (\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}) \quad (29)$$

(où '∀A' remplace le signe de 'vue mécanique V_M ').

* Décidons d'employer afin de mesurer les valeurs de la quantité de mouvement \mathbf{p} , les actes de mesure (8') et la procédure de codage *Proc.[Cod.p(tr.guid.)]*, donc les successions de mesure (9''). En termes *IMQ* cela conduira à une certaine description statistique $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A), Mlp(me_G)]$, et celle-ci sera vérifiée en refaisant des successions de mesure codantes (9'').

* Considérons maintenant les assertions *Ass.1-Ass.5* établies dans 7.4 pour les microétats $me_{G_n c}(prog.Is)_{eh.q}$.

** L'assertion *Ass.1* est absolument générale. Elle reste donc valide : Les prévisions statistiques tirées par voie de calculs de $\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}$ – quel que soit l'algorithme prescrit²⁰⁶ – doivent pouvoir être *vérifiées* de la même manière que l'on vérifie la statistique $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A), Mlp(me_G)]$, à savoir via des successions de mesures codantes (9'').

** Alors, à l'aide de successions codantes (9'') l'on établit d'abord factuellement la description statistique $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A), Mlp(me_G)]$ de (29) pour le microétat étudié, et, dans *MQ2*, l'on représente le résultat par la fonction d'onde de (29), i.e. par l'équivalence (29) :

L'on voit que dans ce cas, l'assertion *Ass.2* se réduit à une renotation de '[($D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A$), $Mlp(me_G)$]' fondée *exclusivement* sur l'emploi de successions de mesure codantes (9''), en *dehors* du cadre Hilbert-Dirac (i.e. sans poser a priori des formes mathématiques hilbertiennes du type (11) et (12) en tant que structures d'accueil des nombres $p^t(G, \mathbf{p}_j)$ qui se constituent au fur et à mesure que sont répétées les évolutions de mesure codantes (9'')).

** L'assertion *A3 disparaît* et laisse place à un examen *direct* des méta-corrélations entre les statistiques factuelles $\{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J$ de branches distinctes de l'arbre de probabilité du microétat étudié, obtenues toutes via des successions de mesure codantes (9'').

** L'*Ass.4* est fondée, comme l'*Ass.2*, sur des successions codantes (9'') et

²⁰⁶La question de l'algorithme calculatoire, dans *MQ2*, des prévisions statistiques tirées d'une fonction d'onde statistique, est importante. Elle sera discutée ailleurs.

peut s'associer à la seule postulation de l'équation d'évolution de Schrödinger, indépendamment du cadre Hilbert-Dirac, et associée au postulat de représentation de la probabilité de *présence*, par $|\Psi|^2$, comme dans la phase primitive de la mécanique ondulatoire.

** L'Ass.5(a) subsiste, mais face à la reformulation ci-dessus de Ass.4 fondée sur (9''); cependant que Ass.5(b) *disparaît* en l'absence d'une définition Hilbert-Dirac d'une observable \mathbf{P} de quantité de mouvement, liée à une équation pour ket et valeurs propres.

* Chaque réalisation d'une évolution de mesure (9''), en produisant une paire de valeurs $(\mathbf{r}_i, \mathbf{p}_j)$, définit également, via les définitions $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$, une valeur de toute autre grandeur mécanique.

Ceci spécifie une théorie des mesures quantiques pour les microétats $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, qui ne préjuge pas de la vérification de la prévision (23) via des évolutions de mesure (9'').

7.5.5.2. Commentaires globaux sur 7.5.5 qui pointent vers l'intégration prochaine de MQ2

C1(7.5.5). La théorie des mesures quantiques esquissée dans 7.5.5 pour le cas des microétats progressifs *avec* champ quantique, est également valide pour les microétats progressifs *sans* champ quantique, car les procédures de codage $Proc.[Cod.\mathbf{p}(tr.guid.)]$ et $Proc.[Cod.\mathbf{r-p}(tr.guid.)]$ ont été posées toutes les deux pour *tout* microétat progressif.

Cela revient à dire que le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ qui permet des évolutions de mesure intégrés dans le formalisme hilbertien, est à regarder désormais comme une possibilité *particulière*, caractéristique des microétats progressifs sans champ quantique et compatible avec un cadre de représentation mathématique Hilbert-Dirac. Donc, lors de l'intégration de MQ2 dans le chapitre 8 qui suit, la construction de ce point 7.5.5 aura à être explicitement généralisée et re-positionnée à l'intérieur de MQ2.

C2(7.5.5). Quant à la manière d'obtenir dans MQ2 – directement par des *calculs* qui impliquent la fonction d'état statistique $\Psi(x,t) = a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ – les probabilités *prévisionnelles* $\{p^j(G, \mathbf{p}_j)\}$, $j=1,2,\dots,J$ concernant les valeurs \mathbf{p}_j de la quantité de mouvement \mathbf{p} , ainsi que les probabilités prévisionnelles des valeurs a_j des autres grandeurs mécaniques $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$, au lieu d'être réduit à établir toutes ces probabilités exclusivement de manière factuelle, cela *reste une question ouverte*. Nous y reviendrons dans le chapitre 8.

Mais le fait que cette question reste ouverte, n'empêche pas que, ici, la représentation des mesures quantiques pour les microétats $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, est d'ores et déjà esquissée.

C3(7.5.5). Dans la nouvelle perspective introduite par l'examen des microétats progressifs de la catégorie $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, avec champ quantique, l'opération de génération G au sens de IMQ joue un rôle unificateur intéressant.

La représentation *dbb* des microphénomènes part de la formulation de Jacobi de la mécanique classique, en supprimant les conditions d'approximation géométrique. Puis

cette représentation se spécifie *sans individualiser ni physiquement, ni conceptuellement, ni formellement, des 'exemplaires' $me_{G,exi}$ d'un microétat étudié me_G* . Elle n'individualise même pas le concept plus abstrait d' 'un microétat me_G '. La représentation dBB est globale, continue, a-observationnelle, imaginée, elle concerne l'entière microréalité en tant qu'un tout auquel l'on associe un *langage* où interviennent des *mots* individualisants. La 'théorie des mesures' que Louis de Broglie a rattaché à sa représentation [1956], reste comme périphérique face à l'essence de la formalisation, elle est juste accolée, affirmée, pas déduite.

Les mêmes remarques valent pour les exposés Bohm [1952]

Dans son essence, la représentation dBB est une métaphysique mathématisée du réel physique microscopique.

D'autre part, la formalisation MQ_{HD} définit des représentations statistiques à l'aide de ket d'état dont chacun, verbalement, est affirmé concerner 'un' microétat étudié. Mais – sous le couvert de la confusion entre le concept d'opération G de génération d'un microétat me_G , et le concept MQ_{HD} vague et déficient de 'préparation pour mesure' du ket d'état, la formalisation MQ_{HD} n'introduit en fait aucune représentation formelle de la genèse de l'entité microphysique liée à un ket d'état donné. Face à ce contexte :

Les concepts IMQ d'opération de génération G et de succession de mesure [$G.Mes(A)$] contrainte par des conditions de codabilité des effets observables d'une telle succession, apparaissent comme un canal de conversion des contenus de modélisation qualitative de la représentation purement modélisante de la représentation dBB du réel microphysique, en termes de *connaissances consensuelles vérifiables, au sens de l'intersubjectivité*.

Ce sont ces contenus convertis qui sont transférés dans $MQ2$ via le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$.

Si en outre, en amont, l'on s'avance jusqu'à l'endroit de jaillissement de la représentation dBB , déclenché par Louis de Broglie de l'intérieur de la formalisation de Jacobi de la mécanique classique, par l'abandon de l'approximation géométrique qui délimitait cette formalisation précédente, l'on perçoit tout à coup la possibilité d'une vaste unification qui englobe dans un même processus de conceptualisation sans hyatus, la mécanique classique, la représentation dBB des microphénomènes, IMQ , et une représentation $MQ2$ de construction de connaissances 'scientifiques' concernant des 'microétats'.

Les commentaires C1(7.5.5)-C3(7.5.5) expriment l'ouverture d'une perspective vers la prochaine intégration de $MQ2$. Mais pour l'instant il ne s'agit que d'un halo autour de la représentation dans $MQ2$ des mesures quantiques sur des microétats progressifs avec champ quantique, qui vient de se former.

7.6. Le cas des microétats 'liés' de la catégorie $me(lié.Is)_{Gcomp-ch.q}$

Il nous reste à examiner le cas des microétats liées dans une structure microscopique.

7.6.1. Rappel des spécificités majeures

Nous avons déjà noté (7.2.2.1) que :

- Dans le cas d'un microétat lié de la catégorie générale $me(lié.Is)_{Gcomp-ch.q}$ définie

dans 7.2.4, l'exemplaire physique et individuel $me_{G,exi}$ du microétat représenté me_G reste piégé de manière permanente à l'intérieur d'un domaine d'espace-temps 'ordinaire' (factuel, pas 'de représentation'), qui est **inclus** dans l'espace **abstrait** de représentation du ket d'état $|a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}\rangle$ associé au microétat étudié me_G , ce qui crée des confusions.

- Dans ce cas – comme aussi dans le cas des microétats de la catégorie $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$ – la forme mathématique de la 'fonction d'onde' du phénomène ondulatoire physique comporté par l'exemplaire $me_{G,exi}$ individuel, physique et actuel, du microétat étudié me_G , se superpose fortement à la forme mathématique de la 'fonction d'état' de l'intérieur du ket d'état correspondant $|\Psi_G\rangle$ (la différence se réduit à la localisation de la singularité à aspects 'corporels' dans l'amplitude de la fonction d'onde de l'exemplaire individuel $me_{G,exi}$: la fonction d'état est amputée de cette singularité, ce qui fait place aux significations statistiques).

- Le ket d'état d'un microétat de la catégorie $me(lié.Is)_{Gcomp-ch.q}$ est conçu d'emblée comme consistant dans un état propre de l'énergie totale $|\Psi_{G(E_n)}(x,t)\rangle \equiv |a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}\rangle$. Cela crée une situation à part qui demande attention.

7.6.2. Comportement d'un microétat lié face aux actes de mesure

L'on a déjà noté que, étant donné qu'un microétat lié est conçu comme s'étant constitué dans le passé en vertu de lois naturelles, tout à fait indépendamment de toute action d'un concepteur-observateur humain, et a fini par s'établir d'une manière stationnaire, on peut le traiter comme se trouvant 'là' a-temporellement, prêt à être examiné (comme la logique classique traite tout 'objet' au sens classique).

Cette situation cognitive rattache les actes de mesure sur des microétats liés, à la physique classique tout autant qu'à MQ_{HD} : Dans ces conditions les caractéristiques les plus spécifiques du concept de mesure sur un microétat, restent cachées.

Aussi bien historiquement que conceptuellement, le cas des microétats liés se place sur la frontière même entre physique classique et physique quantique, sur la frange de physique atomique classique.

À cause de la difficulté d'opérer sur, ou dans, un microétat lié, les actes de mesure sur des microétats liés sont toujours *indirects* et le plus souvent *collectifs*. Ils sont accomplis à l'aide d'entités-test (photons ou autres particules) ou de phénomènes-test (effets (Stark, Zeeman, etc.) qui agissent avec des ensembles de microstructures d'accueil du microétat étudié (des atomes d'hydrogène, afin de faire des mesures concernant l'électron lié dans un tel atome, etc.). Ces procédés de mesures indirectes échappent presque entièrement à ce qu'on appelle 'théorie des mesures quantiques'.

Quant aux successions de mesure codante $[G.Mes_c(A)]$ accomplies lors de telles mesures indirectes, la signification des symboles qui interviennent est à redéfinir entièrement, et cas par cas. Usuellement, 'G' est une opération de sélection de la collection de structures d'accueil ; et 'Mes_c(A)' consiste dans l'accomplissement d'un acte-test sur la collection sélectionnée cependant que le 'codage' consiste dans une interprétation des effets observables selon la microphysique classique (interprétation de spectres d'absorption ou/et d'émission, déplacements ou complexification de lignes spectrales, etc.)²⁰⁷.

²⁰⁷ Et notons au passage que dans le cas des microétats liés, plus ou moins explicitement, les testeurs-messagers utilisés (champs classiques, photons, microsystèmes incidents) sont traités comme une partie de l'appareil de mesure et il semble

Bref, la catégorie des microétats liés constitue l'îlot initial de MQ_{HD} . Cet îlot subsiste et il s'est immensément enrichi, tout autant dans le cadre de la physique atomique que dans le cadre de la physique moléculaire.

Mais les caractéristiques des processus de construction de connaissances qui ont été mises en évidence dans IMQ , restent pratiquement imperceptibles et dépourvues de conséquences claires face à cette catégorie particulière des microétats liés. Cette catégorie – littéralement, dans sa structure même – est la frontière entre microphysique classique et mécanique quantique, où les deux domaines se mélangent.

* L'opération de génération de G du microétat étudié est révolue dans le passé face aux successions de mesure codante que l'on peut accomplir.

* *L'équation d'évolution de Schrödinger joue un rôle essentiel, autant du point de vue conceptuel que du point de vue utilitaire : sans elle il n'y a aucune représentation formelle.* Avec elle, on peut en développer une, lorsqu'elle manque.

* Le concept de ket d'état du microétat lié considéré, se confond avec le concept d'état propre de l'observable H d'énergie totale, $|\Psi_{E_n}(t)\rangle$. Or :

** La fonction d'onde qui peuple un 'ket propre' intervient avec le statut conceptuel d'un modèle mathématique de l'onde physique de l'exemplaire individuel $me_{G.exi}$ du microétat me_G étudié, *au voisinage de la singularité dans l'amplitude de l'onde physique de $me_{G.exi}$* (6.2.2.1).

** La fonction d'onde (au sens initial de la thèse de Louis de Broglie) qui représente l'entier phénomène ondulatoire *physique, individuel*, comporté par $me_{G.exi}$, ne s'identifie pas à ce modèle mathématique local de l'intérieur de l'onde physique de $me_{G.exi}$ (7.2.1).

** La fonction d'onde *statistique* du ket d'état associé à me_G , est encore une autre chose (7.2.1).

Si l'on confond tous ces concepts il n'est pas surprenant que l'on soit assailli par certains 'problèmes' dès qu'on se pose des questions. Or dans le cas du 'ket d'état' d'un microétat lié ces concepts se confondent très fortement, parce que d'emblée, dans MQ_{HD} , il s'agit à la fois – par définition déclarée – du ket d'état qui représente les statistiques qui concernent le microétat étudié me_G , et aussi d'un ket propre de l'observable H d'énergie to-

que l'on ne tente même pas de les représenter à l'intérieur de MQ_{HD} comme l'exigerait la 'théorie quantique des mesure' de von Neumann.

tale (cependant que les autres concepts mentionnés plus haut sont ignorés dans MQ_{HD})²⁰⁸.

* Dans ces conditions conceptuelles particulièrement confuses, la question de ‘réduction’ du ket d’état manifeste une tendance de dédoublement :

** S’agit-il de la réduction à l’un seul de ses termes, de *la solution générale de l’équation linéaire d’évolution de Schrödinger*, qui consiste par définition mathématique en la superposition des représentants mathématiques de tous les états propres de l’énergie totale ? Cependant que chacun de ces termes est aussi, face aux observables qui ne commutent pas avec H , un ket d’état *statistique*, et donc contient pour toute telle observable toute une décomposition spectrale de termes mutuellement distincts qui, elle, est réduite par un acte de mesure à l’un seulement de ses termes ?

** S’agit-il des deux sortes de réductions spécifiées ci-dessus à la fois ?

En détaillant ainsi la question, il semble bien que la question courante de réduction lors d’un acte de mesure, monte dans ce cas sur un *méta*-niveau de conceptualisation, pour occuper aussi le nouvel espace offert par la prise en considération de la solution générale de

²⁰⁸ En ce point surgit une question surprenante, liée au fait que le ket d’état d’un microétat de la catégorie $me(lié.Is)_{Gcomp-ch.q}$ est conçu d’emblée comme consistant dans un état propre de l’énergie totale $|\Psi_{G(En)}(x,t)\rangle \equiv |a(x,t)e^{i\phi(x,t)}\rangle$: L’on a vu que lorsqu’on passe de la catégorie des microétats progressifs sans champ quantique $me(prog.Is)_{Gnceh.q}$, à celle des microétats progressifs avec champ quantique $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, la procédure de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ cesse d’être valide pour la grandeur mécanique classique de quantité de mouvement \mathbf{p} . Au premier abord cela tend à faire croire que les concepts *généraux* MQ_{HD} d’observable quantique A et d’états propres de celle-ci, cessent eux aussi d’être pertinents et utiles lorsqu’on passe de la catégorie des microétats $me(prog.Is)_{Gnceh.q}$, à celle des microétats $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$. Mais d’autre part l’on a d’emblée l’impression que :

Relativement à l’observable H liée à la grandeur classique d’‘énergie totale’ $H = p^2/2m + V(x,t)$ où $V(x,t)$ qui désigne l’énergie potentielle des champs *classiques*, la procédure de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ *reste adéquate* aussi bien pour les microétats progressifs que pour les microétats liés, *idépendamment* de l’adéquation, ou non, d’une représentation générale hilbertienne.

Est-ce exact ? Et si oui, *qu’est-ce que cela veut dire* ? Cette question paraît importante. Il serait prématuré de vouloir y répondre tout de suite. Mais dès qu’on l’a formulée et qu’on l’a contemplée brièvement, elle suggère l’hypothèse qu’elle serait liée au postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_G, oc)$ posé dans 6.2.3 : Selon ce postulat une opération de génération G au sens de IMQ , d’un exemplaire $me_{G,exi}$ physique, individuel et actuel, de *tout* microétat étudié me_G , introduit, à partir du réel microphysique encore non-conceptualisé, un fragment qui consiste en une onde dont l’amplitude contient *au moins* une *singularité à caractères ‘corpusculaires’* (mais peut-être un grand nombre) qui, elle seule, admet des qualifications ‘mécaniques’ (position \mathbf{r} , quantité de mouvement \mathbf{p} , des grandeurs mécaniques plus complexes de la structure d’une fonction symétrisée $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$). C’est dire que – en général – le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_G, oc)$ permet des qualifications *mécaniques* de, seulement, *un élément de l’intérieur, pas seulement du modèle métaphysique de L. de Broglie, mais même du concept MQ_2 d’‘un exemplaire $me_{G,exi}$ d’un microétat me_G ’*. À savoir, des qualifications ‘mécaniques’ de, exclusivement, la singularité à caractères corpusculaires de l’intérieur de l’exemplaire individuel $me_{G,exi}$ qui est en jeu. Et que par conséquent, pour l’observable H à champs classiques, tout ce qui n’est pas singularité à caractères corpusculaires, est *extérieur à ce qu’elle peut qualifier* :

C’est-à-dire, l’observable H liée à la grandeur $H = p^2/2m + V(x,t)$ d’énergie totale classique, n’agit que sur ce qui accepte des qualifications mécaniques. Cette observable ne ‘perçoit’ que cela, qui est *dans* $me_{G,exi}$. Ce serait donc de nouveau une question de ‘dehors-dedans’.

Cependant que nulle part, dans aucune conceptualisation humaine déjà constituée de ce qu’on appelle ‘le réel microphysique’, on n’a tracé des contours définis d’espace-temps pour le concept de ‘un microétat’. L’on se trouve là sur la frontière même entre physique et métaphysique, et le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_G, oc)$, via l’opération G de génération d’un microétat *en tant qu’objet d’étude inter-subjective*, agit comme un puits étroit qui pourrait relier ces deux domaines de la pensée : un acte de mesure quantique d’une grandeur *mécanique* doit atteindre la/les singularité/s et en tirer une qualification que l’on puisse coder en termes signifiants. Point. Voilà le problème.

Ceci renvoie à tout le cortège des considérations fondamentales et très subtiles liées au problème du ‘dehors-dedans’ d’une entité de type donné. Face aux considérations de cette nature, il se pourrait que – du point de vue du comportement ‘mécanique’ *relativement* aux grandeurs mécaniques classiques $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$ qui sont différentes de l’énergie totale H – la singularité à caractères ‘corpusculaires’ de l’intérieur d’un exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G apparaisse comme identifiable à l’*entier* exemplaire $me_{G,exi}$ quand le microétat est dépourvu de champs quantiques internes, i.e. sans que l’évolution de mesure via codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ *soit influencée par le ‘reste’ de $me_{G,exi}$ face à la singularité*. Cependant que si $me_{G,exi}$ contient des champs quantiques non-nuls, une telle identification cesse d’être valide face aux faits observables, parce que les champs quantiques peuvent influencer les comportements *mécaniques* observables que l’on qualifie via des valeurs d’une grandeur classique $A(\mathbf{r}, \mathbf{p}) \neq H$, mais n’influencent *pas* les comportements observables qui qualifiés en termes des valeurs de l’énergie totale classique H ? Surtout lorsqu’il s’agit d’un microétat lié, à singularité qui tourne en rond confinée dans un espace minuscule ? Il semble qu’il faudrait *relativiser chaque concept de qualification, chaque concept d’entité qualifiée, radicalement*, afin d’arriver à vraiment comprendre, et se comprendre lorsqu’on parle.

l'équation linéaire d'évolution. Et cela illustre le degré de confusion que l'on peut atteindre lorsque des mathématiques diversement linéaires se combinent avec des indéfinitions multiples des concepts mis en jeu.

Mais *cette* question de réduction, coalescente, celle contre laquelle Schrödinger a inventé son fameux chat, *disparaît*, dans tous ses avatars, lorsqu'on lui applique les analyses accomplies dans le travail présent tout au cours des chapitres 6 et 7. En effet, sur la base des considérations de ce point 7.6.2, la représentation $MQ2$ des processus de mesure pour les microétats progressifs, est transposable dans son essence au cas des microétats liés²⁰⁹.

7.7. Retour final sur la représentation des processus de mesure selon von Neumann : 'décohérence [(microétat mesuré)-(appareil de mesure)]' versus décohérence de microétats

D'emblée, nous avons refusé la vue de von Neumann selon laquelle il faudrait, dans la représentation MQ_{HD} des processus de mesure, introduire aussi le ket d'état de l'appareil de mesure et l'interaction de mesure entre cet appareil et le microétat étudié. Ce refus a été fondé sur de raisons très fondamentales qui sont tout à fait indépendantes de la question de réduction.

Mais maintenant, après avoir pris connaissance de l'entière suite de difficultés qui, nonobstant ce refus, tout au long des points 7.2-7.5 ont fait obstacle à la clarification de la question de réduction, l'on se rend compte a posteriori qu'il aurait été probablement tout simplement impossible de progresser vers une compréhension et une dissolution de cette question si l'on avait accepté de représenter les processus de mesure selon von Neumann. Car la vue de von Neumann entraîne la nécessité de représenter formellement dans MQ_{HD} le processus de 'décohérence' finale entre appareil et microétat, et personne à ce jour n'a réussi à faire face d'une manière consensuelle à cette 'nécessité'²¹⁰.

²⁰⁹L'élaboration sérieuse de cette transposition occuperait un grand nombre de pages. Mais ceux qui se sentent intéressés, peuvent les 'résoudre' en tant que des 'exercices de $MQ2$ '. Cela feraient évoluer $MQ2$, sans doute.

²¹⁰C.f. : http://fr.wikipedia.org/wiki/Chat_de_Schrödinger : « L'expérience ». Erwin Schrödinger a imaginé une expérience dans laquelle un chat est enfermé dans une boîte avec un dispositif qui tue l'animal dès qu'il détecte la désintégration d'un atome d'un corps radioactif ; par exemple : un détecteur de radioactivité type Geiger, relié à un interrupteur provoquant la chute d'un marteau cassant une fiole de poison — Schrödinger proposait de l'acide cyanhydrique, qui peut être enfermé sous forme liquide dans un flacon sous pression et se vaporiser, devenant un gaz mortel, une fois le flacon brisé. Si les probabilités indiquent qu'une désintégration a une chance sur deux d'avoir eu lieu au bout d'une minute, la mécanique quantique indique que, tant que l'observation n'est pas faite, l'atome est simultanément dans deux états (intact/désintégré). Or le mécanisme imaginé par Erwin Schrödinger lie l'état du chat (mort ou vivant) à l'état des particules radioactives, de sorte que le chat serait *simultanément* dans deux états (l'état mort et l'état vivant), jusqu'à ce que l'ouverture de la boîte (l'observation) déclenche le *choix* entre les deux états. Du coup, on ne peut absolument pas dire si le chat est mort ou non au bout d'une minute. La difficulté principale tient donc dans le fait que si l'on est généralement prêt à accepter ce genre de situation pour une particule, l'esprit refuse d'accepter facilement une situation qui semble aussi peu *naturelle* quand il s'agit d'un sujet plus familier comme un chat.

Un certain nombre de théoriciens quantiques affirment que l'état de superposition ne peut être maintenu qu'en l'absence d'interactions avec l'environnement qui « déclenche » le choix entre les deux états (mort ou vivant). C'est la théorie de la décohérence. La rupture n'est pas provoquée par une action « consciente », que nous interprétons comme une « mesure », mais par des interactions physiques avec l'environnement, de sorte que la cohérence est rompue d'autant plus vite qu'il y a plus d'interactions. À l'échelle macroscopique, celui des milliards de milliards de particules, la rupture se produit donc pratiquement instantanément. Autrement dit, l'état de superposition ne peut être maintenu que pour des objets de très petite taille (quelques particules). La décohérence se produit indépendamment de la présence d'un observateur, ou même d'une mesure. Il n'y a donc pas de paradoxe : le chat se situe dans un état déterminé bien avant que la boîte ne soit ouverte. Cette théorie est notamment défendue par les physiciens Roland Omnès et Jean-Marc Lévy-Leblond, et par le prix Nobel Murray Gell-Mann.

Une variante de la théorie de la décohérence est défendue notamment par les physiciens Roger Penrose, Rimini, Ghirardi et Weber. Elle part de la constatation que la décohérence n'est démontrée à partir des lois quantiques que dans des cas précis, et en faisant des hypothèses simplificatrices et ayant une teneur arbitraire (histoires à « gros grains »). De plus, les lois quantiques étant fondamentalement linéaires, et la décohérence étant non linéaire par essence, obtenir la seconde à partir des premières paraît hautement suspect aux yeux de ces physiciens. Les lois quantiques ne seraient donc pas

Il semble très probable que ce faux problème aurait englouti a priori notre tentative de résoudre la question des mesures quantiques, comme il a déjà englouti tant d'autres tentatives de compréhension.

Car il convient d'introduire une distinction radicale entre :

- Processus *physique* de décohérence *observée expérimentalement* entre microétats physiques.
- Représentation sur le papier d'une décohérence *postulée* entre appareil macro-

capables à *elles seules* d'expliquer la décohérence. Ces auteurs introduisent donc des paramètres physiques supplémentaires dans les lois quantiques (action de la gravitation par exemple pour Penrose) pour expliquer la décohérence, qui se produit toujours indépendamment de la présence d'un observateur, ou même d'une mesure.

Cette théorie présente l'avantage par rapport à la précédente d'apporter une réponse claire et objective à la question « que se passe-t-il entre le niveau microscopique et le niveau macroscopique expliquant la décohérence ». L'inconvénient est que ces paramètres supplémentaires, bien que compatibles avec les expériences connues, ne correspondent à aucune théorie complète et bien établie à ce jour.

Approche positiviste

De nombreux physiciens positivistes, bien représentés par Werner Heisenberg ou Stephen Hawking, pensent que la fonction d'onde ne décrit pas la réalité en elle-même, mais uniquement ce que nous connaissons de celle-ci (cette approche coïncide avec la philosophie d'Emmanuel Kant, le noumène, la chose en soi / le phénomène, la chose telle que nous la percevons). Autrement dit, les lois quantiques ne sont utiles que pour calculer et prédire le résultat d'une expérience, mais pas pour décrire la réalité. Dans cette hypothèse, l'état superposé du chat n'est pas un état « réel » et il n'y a pas lieu de philosopher à son sujet (d'où la célèbre phrase de Stephen Hawking « Quand j'entends « chat de Schrödinger », je sors mon revolver »). De même, « l'effondrement de la fonction d'onde » n'a aucune réalité, et décrit simplement le changement de *connaissance* que nous avons du système. Dans cette approche toujours assez répandue parmi les physiciens, le paradoxe est donc évacué.

Théorie des univers parallèles

Article détaillé : Théorie d'Everett. La théorie des univers parallèles introduite par Hugh Everett prend le contre-pied de l'approche positiviste et stipule que la fonction d'onde décrit la réalité, et toute la réalité. Cette approche permet de décrire séparément les deux états simultanés et leur donne une double réalité qui semblait avoir disparu, dissoute dans le paradoxe (plus exactement deux réalités dans deux univers complètement parallèles - et sans doute incapables de communiquer l'un avec l'autre une fois totalement séparés). Cette théorie ne se prononce pas sur la question de savoir s'il y a duplication de la réalité (*many-worlds*) ou duplication au contraire des observateurs de cette même réalité (*many-minds*), puisque ces deux possibilités ne présentent pas de différence fonctionnelle. Malgré sa complexité et les doutes sur sa réfutabilité, cette théorie emporte l'adhésion de nombreux physiciens, non convaincus par la théorie de la décohérence, non positivistes, et pensant que les lois quantiques sont exactes et complètes.

Reformulation radicale de la théorie quantique

Le paradoxe du chat prend sa source dans la formulation même des lois quantiques. Si une théorie alternative, formulée différemment, peut être établie, alors le paradoxe disparaît de lui-même. C'est le cas pour la théorie de David Bohm, inspirée des idées de Louis de Broglie, qui reproduit tous les phénomènes connus de la physique quantique dans une approche réaliste, à variables cachées (non locales). Dans cette théorie, il n'existe ni superposition des particules ni effondrement de la fonction d'onde, et donc le paradoxe du Chat est considéré de ce point de vue comme un artefact d'une théorie mal formulée. Bien que la théorie de Bohm réussisse à reproduire tous les phénomènes quantiques connus et qu'aucun défaut objectif de cette théorie n'ait été mis en évidence, elle est assez peu reconnue par la communauté des physiciens. Elle est pourtant considérée par celle-ci comme un exemple intéressant, et même un paradigme d'une théorie à variables cachées non locales.

Théorie de l'influence de la conscience

Un prix Nobel de physique 1963, Eugene Wigner, soutient la thèse de l'interaction de la conscience, dans la décohérence (cessation de la superposition d'état). Dans cette interprétation, ce ne serait pas une mesure, ou des interactions physiques, mais la *conscience* de l'observateur qui « déciderait » finalement si le chat est mort ou vivant. En regardant par le hublot, l'œil (dans ce cas, c'est lui l'appareil de mesure) se met dans une superposition d'états :

d'un côté, un état A : « uranium désintégré, détecteur excité, marteau baissé, fiole cassée, chat mort » ;

de l'autre, un état B : « uranium intact, détecteur non excité, marteau levé, fiole entière, chat vivant » ;

le nerf optique achemine au cerveau une onde qui est aussi dans une superposition des états A et B, et les cellules réceptrices du cerveau suivent le mouvement. C'est alors que la conscience, brutalement, fait cesser le double jeu, obligeant la situation à passer dans l'état A ou dans l'état B (rien ne dit pourquoi ce serait A ou B).

Wigner ne dit pas comment, mais les conséquences de sa position sont importantes : la réalité matérielle du monde serait déterminée par notre conscience, et celle-ci est unique (deux observateurs humains doivent percevoir la même chose). Cette solution peut être vue comme une variante de la solution « avec variables cachées », où le « paramètre supplémentaire » serait la conscience. Les avantages de cette solution sont les mêmes que la solution avec variables cachées, les inconvénients étant qu'elle repose sur des notions non scientifiques (faute d'une définition scientifique de la conscience). Une variante intéressante rend le résultat plus spectaculaire encore : un appareil photo prend une image du chat au bout d'une heure, puis la pièce contenant le chat est définitivement scellée (hublots fermés). La photographie ne serait quant à elle développée qu'un an plus tard. Or, ce n'est qu'à ce moment-là qu'une conscience humaine tranchera entre la vie ou la mort du chat. Le signal nerveux remonterait-il le temps pour décider de la vie ou de la mort du chat ? Cela peut paraître absurde, mais l'expérience de Marlan Scully et le paradoxe EPR illustrent l'existence de rétroactions temporelles apparentes en physique quantique.

pique et un microétat mesuré à l'aide de cet appareil :

L'existence de phénomènes *physiques* de décohérence entre *microétats physiques*, a été établie expérimentalement (Cohen-Tannoudji et al. [1996, 2001], Haroche and Raimond [2006]). Elle est hors de doute et dotée d'une grande importance conceptuelle et pratique.

Mais lorsqu'il s'agit de représenter théoriquement les processus quantiques *de mesure*, l'instillation d'un ectoplasme du concept physique de décohérence, dans un descripteur – **AVORTÉ** – d'«*évolution Schrödinger de mesure du ket d'état étudié*», est *épistémologiquement dé-placée*, au sens propre de ce terme, pour toutes les raisons qui ont déjà été détaillées avant. Cette instillation opère une transmutation furtive de la représentation d'un phénomène *physique*, en la représentation d'un phénomène *fictif* qui – *sur le papier* – fait coalescence avec toutes les autres confusions comportées par le concept inacceptable d'«*évolution Schrödinger de mesure du ket d'état étudié*».

Où est la décohérence entre appareil de mesure et microétat étudié dans le cas des actes de mesure qui codent par localisation, au sens du postulat $\mathcal{P}[\text{Cod}(\text{PMBGB})]$? En général l'exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G y disparaît, en tant que tel, cependant que les marques codantes enregistrées – qui restent et qui opèrent la 'traduction' génératrice de signification – constituent précisément l'effet recherché, sans lequel, s'il 'disparaissaient', on ne saurait pas quel résultat assigner à de l'acte de mesure accompli. Et où est la décohérence dans le cas éventuel d'une mesure de la quantité de mouvement par enregistrement de la trace de guidage selon le postulat

Et si le chat était un observateur ?

Dans la résolution du paradoxe du chat de Schrödinger, on considère que le chat n'a pas de conscience lui permettant de jouer le rôle d'observateur. On postule donc que l'expérience du chat de Schrödinger est équivalente à celle du baril de poudre d'Einstein. Ceux qui trouvent contre-intuitif de considérer un chat comme un simple objet dépourvu de conscience peuvent carrément explicitement remplacer le chat par le baril de poudre. Si au contraire on souhaite étudier ce qui se passe si l'observateur est conscient, on remplace le chat par un être humain, ou on ajoute un être humain dans la chaîne, pour éviter les contestations sur le fait que l'observateur est conscient. Ce sont les variantes de l'ami de Wigner et du suicide quantique. Il faut bien comprendre que les cas d'observateurs conscients constituent des variantes du problème initial, tandis que celles où l'observateur n'est pas conscient sont des *reformulations équivalentes*.

L'ami de Wigner

Dans cette variante imaginée par Eugene Wigner, un de ses amis observe le chat en permanence par un hublot. Cet ami aime les chats. Donc la superposition d'états du chat mort/vivant conduirait à une superposition d'états de l'ami de Wigner triste/heureux, si l'on suppose qu'un observateur conscient peut également être mis dans un état superposé. La plupart des interprétations ci-dessus concluent au contraire que la superposition d'états serait brisée avant d'entraîner celle de l'ami de Wigner. Une version moderne de cette expérience de pensée a été proposée par Taoufik Amri³ en 2011. L'idée centrale est d'imaginer un dispositif amplifiant les signes vitaux du chat afin de visualiser son état de vie ou de mort à l'aide d'une petite diode laser. Si le chat est mort, la diode n'émet pas de lumière. Si le chat est vivant, la diode émet un état quasi-classique du champ lumineux. Si le chat est dans une superposition d'états "mort et vivant", il en est de même pour la lumière, qui se retrouve dans un état intriqué à celui du chat. L'état du système global (noyau, chat, laser) est une superposition des états : "noyau excité et chat vivant et émission de lumière" ET "noyau désintégré et chat mort et diode éteinte". On peut alors étudier les effets d'une observation par l'ami de Wigner en traitant l'œil humain comme un véritable détecteur optique. En s'appuyant sur les données issues d'expériences de neurophysiologie, le traitement quantique consiste à appliquer le postulat de la mesure au système triplement intriqué. On montre alors que l'état après l'observation de lumière est un état complètement mélangé, où toutes les cohérences quantiques ont été dissipées. Le système (noyau, chat) se retrouve dans le mélange statistique "noyau excité, chat vivant" OU "noyau désintégré, chat mort". En d'autres termes, l'œil humain n'est pas suffisamment quantique pour détecter un état "chat de Schrödinger". Si l'on veut préserver le chat de Schrödinger, il faut effectuer une observation à travers un détecteur d'états "chat de Schrödinger" de la lumière, c'est-à-dire des superpositions des états vide et quasi-classique du chat lumineux. T. Amri propose dans sa thèse 4 le principe d'un tel détecteur et montre comme ce dernier pourrait être conçu avec les technologies actuelles 5. La principale conclusion de cette nouvelle version de cette expérience de pensée est que bien évidemment la conscience n'intervient absolument pas dans le devenir du chat. Le postulat de la mesure, aussi appelé règle de projection, traduit dans le formalisme mathématique de la théorie quantique, une idée assez intuitive : après une mesure, le système se retrouve dans l'état dans lequel on l'a mesuré. L'étrangeté quantique vient surtout de l'existence de superposition quantique, comme des états "chat de Schrödinger".

Etc., etc., etc.

de codage $\mathcal{P}[Cod.p(tr.guid.)]$? On peut répondre exactement comme pour le cas de $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$.

Au cœur même d'une théorie physique révolutionnaire et fondamentale, une fiction empaquette de près un nœud de confusions. Cette fiction a fait proliférer autour du nœud de confusions, des calculs d'une complexité pathologique, où tout raisonnement s'étouffe.

Et tout le monde se soumet passivement.

Mais pourquoi donc ? Est-il vraiment suffisant qu'une aberration soit exprimée en termes mathématiques et qu'elle introduise des complexités calculatoires intéressantes qui peuvent indéfiniment avaler de vraies et hautes compétences techniques, de l'effort, du temps, des controverses, de la notoriété, pour que l'on protège l'aberration d'une façon inconditionnelle ?

D'ailleurs il est remarquable que le problème des mesures quantiques reste vivace depuis si longtemps, sans céder aux banalisations. Cela manifeste une résistance à des dérives *représentationnelles*, d'un système mathématique qui – en tant que tel – est doté de cohérence interne.

7.8. Un mot supplémentaire sur les microétats de la catégorie $me(prog.ns)_{G_{nc}, n \geq 2}$, à opération de génération non-composée, à deux ou plusieurs microsystèmes (cas de Bell)

Le théorème de non-localité de Bell, mentionné dans 1.3.3, 2.6.2.1 et 3.4.3, concerne un microétat de la catégorie $me(prog.ns)_{G_{nc}, n \geq 2}$. Nous revenons brièvement sur ce cas, juste pour associer aux remarques déjà exprimées, la nouvelle remarque qui suit.

Il s'agit d'une opération de génération non-composée qui engendre 1 microétat de 2 microsystèmes. Selon le postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ un exemplaire individuel $me_{G_{exi}}$ d'un tel microétat comporte deux singularités à caractères corpusculaires dans l'amplitude de son onde physique. Et selon la représentation dBB il semble naturel que l'onde physique soit conçue comme une onde *commune*. Au cours de l'entière évolution d'un exemplaire $me_{G_{exi}}$ d'un tel microétat, cependant que les singularités s'éloignent l'une de l'autre en s'avancant chacune vers l'un des deux appareils de mesure de spin, l'onde commune peut être conçue subsister. Et en ce cas elle entretient une 'connexion' entre les deux singularités, par continuité physique. La valeur de spin manifestée par chacun de ces deux appareils lorsqu'il interagit avec la singularité à caractères corpusculaires qui l'atteint, semble a priori pouvoir dépendre – de manière structurelle, a-temporelle – de l'onde commune qui porte les deux singularités, **quelle que soient les orientations des appareils**.

En ces conditions :

- À quoi peut rimer la 'condition de localité' que Bell requiert pour les enregistrements afin de satisfaire au concept de localité d'Einstein ?

- Et à quoi bon vouloir 'surprendre' l'état de la singularité qui pénètre dans l'un des appareils en orientant cet appareil 'à la dernière seconde avant l'interaction', de manière à l'empêcher de se laisser 'influencer' par l'orientation de l'autre appareil, elle aussi choisie à la dernière seconde ? Si ces deux singularités n'ont jamais cessé d'être portées par 'un' même microphénomène, et dont la représentation actuelle est *dépourvue de spécifications internes d'espace-temps* cependant qu'il semble difficile de la concevoir dépourvue de toute caractéristique structurelle, du genre 'géométrique' ?

On a l'impression que *l'on raisonne comme pour deux cailloux qui s'éloignent l'un de l'autre dans le vide*. En tout cas, le raisonnement semble laisser hors de sa portée le concept d'un exemplaire individuel $me_{G_{exi}}$ d'un microétat me_G lié à une opération de génération G au sens du postulat de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$ qui, dans ce cas, introduit un tel exemplaire individuel $me_{G_{exi}}$ d'un microétat me_G à deux singularités corpusculaires qui remplit *constamment* l'entier espace qui sépare les deux appareils mis en jeu (Bricmont [1994] semble avoir une opinion similaire).

Qu'on ne rétorque pas en disant que ces considérations sont modélisantes et donc interdites, et que lorsqu'on modélise on fausse l'objectivité positiviste, etc. Car sans aucun modèle on ne peut qu'enregistrer et se taire. On ne peut pas raisonner et démontrer. Et en effet toute la question de localité est soulevée face à un modèle, à savoir des deux cailloux qui s'éloignent l'un de l'autre dans le vide, justement. Et il *suffit* d'un seul modèle concevable face auquel la preuve de Bell s'évanouisse, pour que la *généralité* de la conclusion soit contredite. (Ceci explique la possibilité du modèle cité dans 3.4.3.5, (MMS [1988] et Bordley [137]).

La conclusion de la preuve de Bell n'élimine que le modèle qu'elle présuppose, à savoir celui des cailloux.

Le contenu de cette remarque est supplémentaire face à la critique de 3.4.3 selon laquelle l'expression de la conclusion de Bell *ne découle pas logiquement de la preuve mathématique accomplie*.

En tout cas, au bout des contenus de l'entière suite des points de ce chapitre 7, un constat semble s'imposer concernant la question de 'non-localité' :

Vouloir imposer à la conceptualisation des 'microétats', des conditions qui ont émergé au cours du processus de pensée 'classique' de conceptualisation d'entités et de phénomènes macroscopiques, tout simplement ne fait aucun sens²¹¹.

7.9. Bilan du chapitre 7 :

Une théorie des mesures quantiques définie dans MQ2 pour tout microétat, et émergence des principes et des contours globaux de MQ2

Tout au long du développement critique-constructif qui constitue ce chapitre 7 le problème des mesures quantiques a opéré comme un révélateur. En dessous de ce problème est apparue une absence invraisemblable, à laquelle il est difficile de croire même après l'avoir constatée :

La mécanique quantique actuelle est dépourvue d'une théorie des mesures.

MQ_{HD} présuppose implicitement que – pour tout microétat – il est possible de représenter – par des voies presque entièrement mathématiques (la seule exception consiste dans

²¹¹Tout ce qu'on peut s'imposer comme but de mise en cohérence de l'ensemble des vues construites à ce jour à l'intérieur de la Physique, est d'ordre *constructif et méthodologique* : l'on peut rechercher - une méthode de représentation *commune* qui, en relativisant chaque cellule représentationnelle à [(la manière de laquelle est introduite l'entité à représenter), (cette entité-à-qualifier elle-même), (la manière de qualifier cette entité)]; - des règles communes pour relier via un processus constructif des cellules descriptionnelles différentes ; qui, ensemble, conduisent à une 'compréhension' des relations entre les cellules descriptionnelles obtenues (MMS [2002a, 2002b, 2006, 2011, 2014]).

la ‘donnée’ du ket d’état initial) – un ensemble de statistiques prévisionnelles impliquées par un ket d’état. À la faveur de cette présupposition :

* L’entière phase de constructibilité *factuelle* des statistiques prévisionnelles, à partir de mesures individuelles et physiques effectuées sur des exemplaires individuels et physiques du microétat étudié, *est court-circuitée*. On n’a même pas l’occasion de former une idée décidée concernant la nécessité, ou non, de la possibilité de principe d’une telle constructibilité. L’on investit a priori l’action mathématique du pouvoir de capturer de manière a-factuelle des prévisions statistiques absolues, i.e. face à des actes de mesure quelconques, pas définis avant ces actions mathématiques²¹².

* On ne statue *rien* sur la manière de se ‘donner’ un microétat en tant qu’un objet d’étude, c’est-à-dire, qui puisse rester disponible pour examen, d’une manière qui soit ‘stable’ en quelque sens défini.

* Et par voie de conséquence on ne statue *rien* non plus sur la procédure qui permet d’associer une *signification définie* aux résultats observables d’actes de mesure individuels et physiques que l’on devrait avoir accompli sur des exemplaires *individuels* et physiques me_{Gexi} d’un microétat me_G étudié, afin de pouvoir du moins *vérifier* une statistique prévisionnelle qui concerne ce microétat.

Considérons maintenant la phase où l’on se considère déjà en possession d’un ket d’état qui définit les statistiques prévisionnelles pour un microétat donné. Dans cette phase l’on veut représenter le processus de *vérification expérimentale* des prévisions statistiques données par ce ket.

Et l’on tente de réaliser cette vérification ‘expérimentale’ *via des ‘évolutions de mesure’ du ket d’état mathématique lui-même, qui exprime les statistiques prévisionnelles en termes de nombres abstraits*.

Souvent l’impossibilité d’un tel but est *masquée* par le fait que le ket d’état se confond dans une certaine mesure avec la fonction d’onde d’un exemplaire individuel et physique me_{Gexi} du microétat me_G étudié (quelquefois la confusion est véritablement difficile à éviter (cf.7.2.1 et 7.2.2)²¹³. En ce cas l’absurdité du but signalé plus haut n’apparaît pas dès le premier abord.

Mais les exigences de cohérence interne des mathématiques, *elles*, se révoltent et se manifestent immédiatement, sous la forme du problème de ‘réduction du ket d’état’. Et ainsi naissent des étonnements (Laloë [2001]) qui, finalement, conduisent certains physiciens à s’apercevoir que pour vérifier une prévision statistique qui consiste en un ensemble de nombres abstraits, il faut accomplir des mesures physiques, *individuelles*, actuelles ; et que, en outre, il faut savoir donner un sens défini au résultat observable de chaque telle mesure physique, individuelle, actuelle. Cependant que dans le formalisme de MQ_{HD} , les évolutions de mesure physiques, individuelles, actuelles, *ne sont pas définies* ; et la question d’un codage factuellement réalisable, du résultat observable d’une telle mesure physique, n’est même pas soulevée ; et donc a fortiori elle reste non-résolue. D’autant plus que cette

²¹²Est-ce concevable ? C’est une question qui mérite réflexion.

²¹³Et aussi par le fait qu’on considère l’observable de spin, à seulement deux valeurs : En ce cas spécial l’opération de génération G d’un exemplaire individuel du microétat étudié, peut se confondre plus facilement avec la construction d’une situation *physique* liée à un ket d’état qui introduit une statistique de seulement *deux* valeurs numériques possibles (cristal polarisé, par lequel on fait passer chaque exemplaire me_{Gexi} du microétat étudié me_G , ce qui équivaut à une opération de génération G au sens de IMQ).

question est loin d'être facile à résoudre d'une manière générale, valide pour un microétat quelconque.

Cette lacune d'une représentation recevable des mesures quantiques – invraisemblable et béante – a été ici comblée, constructivement.

* Le concept de 'préparation pour mesure *du ket d'état étudié*' (ou d' 'évolution Schrödinger de mesure *du ket d'état*'), logé sur le niveau de représentation *statistique* d'un microétat, a été identifié comme inacceptable et il a été éliminé. Il a été remplacé par une suite de très nombreuses répétitions d'une succession de mesure *codante* [$G.Mes_c(A)$] placée sur le niveau *individuel* de conceptualisation des microétats.

* Le problème central mais entièrement ignoré du *codage* des enregistrements physiques observables produits par une succession de mesure codante [$G.Mes_c(A)$], a été examiné de façon explicite et patiemment récurrente. Il est apparu que – à l'intérieur du cadre Hilbert-Dirac de représentation mathématique posé dans MQ_{HD} – ce problème n'accepte pas une solution commune pour tous les microétats progressifs, sans champ quantique et avec champ. Il a donc fallu construire des traitements catégoriels, séparés, et *cela a conduit hors du cadre Hilbert-Dirac de représentation mathématique*.

*A ce prix, le problème de 'réduction' s'est dissous.

Le processus de cette dissolution de la question de réduction lors d'un acte de mesure, a fait apparaître des indices de possibilité d'une très vaste représentation unifiée des microétats, génératrice d'une intelligibilité profonde : les principes et les contours globaux de MQ_2 scintillent sur l'horizon, sur une étendue insoupçonnée au départ.

Toutefois la définition de successions de mesure codantes [$G.Mes_c(A)$] pour la catégorie des microétats progressifs avec champ quantique n'est pas entièrement acquise. Elle exige la réalisation de l'expérience cruciale dénotée $EXP.I$ dont seul le résultat escompté ici par hypothèse, s'il se réalise, peut fixer et affermir les idées qui se sont formées.

C'est un pari.

Mais j'avoue que, curieusement, puisque la confirmation de ce pari apporterait tant d'intelligibilité et d'unification conceptuelle, la perte du pari m'apparaît comme improbable. Ce serait une insulte à l'incontestable et émerveillante harmonie de ce Tout que constituent ensemble ce qu'on appelle 'le réel physique', et l'esprit de l'homme.

J'irai donc en confiance jusqu'au bout de la construction tentée ici, en esquissant dans ce qui suit une intégration de la '2^{ème} Mécanique Quantique', afin d'expliciter les attentes.

8

Intégration de la deuxième Mécanique Quantique *MQ2*

8.1. Mot d'introduction au chapitre 8

Divers aspects *MQ2* se sont constitués de manière éparse au cours du cheminement constructif-critique des chapitres précédents. Nous voulons maintenant indiquer d'une manière séparée et intégrée, les sources, les contours, et l'essence des contenus de la deuxième mécanique quantique.

Le processus sera synthétique à l'extrême. Toute élaboration effective sera exclue délibérément.

Le but de ce travail n'est nullement de parfaire une nouvelle théorie fondamentale des microétats. Nous avons voulu seulement identifier les points d'émergence de l'inintelligibilité de *MQ_{HD}*, nettoyer le terrain conceptuel en éliminant ces points, et ouvrir la possibilité d'une élaboration exhaustive en spécifiant l'essence de la structure interne d'une telle nouvelle théorie et ses insertions de frontière.

8.2. Préalables à la caractérisation globale de *MQ2*

8.2.1. Les domaines-source de *MQ2*

* La formulation Hilbert-Dirac de la mécanique quantique, *MQ_{HD}*, telle qu'elle est définie dans le chapitre 4.

* Le cadre général qualitatif, [factuel-conceptuel-épistémologique-opérationnel-méthodologique] : L'Infra-Mécanique Quantique, *IMQ*.

* La représentation de Broglie-Bohm des microphénomènes, *dBB*.

8.2.2. La nécessité et le rôle de chacun des domaines-source dans la genèse de *MQ2*

8.2.2.1. *MQ_{HD}*

Aujourd'hui encore *MQ_{HD}* est considérée quasi unanimement comme correcte d'un point de vue conceptuel-mathématique et dotée de validité concernant *tout* microétat²¹⁴. *MQ_{HD}* a donc constitué le point de départ obligé de l'approche critique-constructive développée ici.

Mais dès les premiers pas de l'examen critique (ch.5) le statut présumé de *MQ_{HD}* s'est mis à se détériorer et à se rétrécir. Et finalement il est devenu clair que l'expression formelle de 'la théorie des mesures' de *MQ_{HD}* est radicalement inacceptable, tout autant

²¹⁴C'était d'ailleurs aussi ma propre croyance lorsque j'ai abordé ce travail : l'unique but initial était de rendre *MQ_{HD}* pleinement intelligible.

de point de vue conceptuel que de point de vue mathématique. En outre, il est apparu progressivement que cette ‘théorie’ des mesures quantiques n’est même pas accessible – à l’intérieur de MQ_{HD} – à une refonte conceptuelle-mathématique dotée de validité générale. Il est apparu que :

Le cadre mathématique Hilbert-Dirac ne peut *pas* être mis en accord avec les impératifs conceptuels qui contraignent une représentation des mesures quantiques valide pour tout microétat progressif, sans ou *avec* champ quantique.

Ceci – en cours de route – a foncièrement transmuté le statut de MQ_{HD} : D’une représentation pré-supposée au départ générale et valide mais qui doit être rendue ‘intelligible’, MQ_{HD} s’est réduite à juste un îlot de représentation mathématique dont il a fallu définir les limites et spécifier des modalités de réutilisation.

8.2.2.2. IMQ

D’emblée il nous a paru clair qu’un examen de la théorie des mesures quantiques de MQ_{HD} qui soit enfin efficace, nécessitait une structure externe de référence, qualitative, épistémologique-opérationnelle, et *methodologisée*, construite indépendamment du formalisme de MQ_{HD} . C’est explicitement avec ce but que dans la première partie de ce travail a été construite l’infra-(mécanique quantique), *IMQ*.

Tout au cours du processus critique-constructif que nous venons de développer *IMQ* a tenu en effet un rôle en l’absence duquel cette approche n’aurait pas pu être développée. Par référence à *IMQ* il a été possible de scruter d’une manière concluante tout élément mathématique de MQ_{HD} , ainsi que tout élément de substitution. Il a été possible de doter chaque élément descriptionnel, d’une signification et d’un emplacement définis et raisonnés, ou de le rejeter.

Ainsi, au cours des chapitres 5-7, des descripteurs mathématiques à contenus identifiés, approfondis et épurés, se sont logés dans des emplacements structurels-sémantiques contrôlés, et se sont reliés à l’intérieur d’une représentation nouvelle dénotée a priori *MQ2*.

Ce sont ces structurations locales préalables qui maintenant conduiront quasi automatiquement vers le nouveau *Tout* recherché.

8.2.2.3. La représentation dBB des microphénomènes

Le modèle idéal de microétat de Louis de Broglie, d’‘onde avec singularité à caractères corpusculaires dans l’amplitude’, a fondé les toutes premières approches de ‘mécanique ondulatoire’.

* Ce modèle s’est installé ensuite dans le formalisme Hilbert-Dirac de MQ_{HD} avec le rôle nouveau – caché – d’un *modèle mathématique local* de la structure du phénomène ondulatoire idéal assigné à un exemplaire individuel du microétat étudié, *au voisinage de la singularité à aspects ‘corpusculaires’ dans son amplitude*. En tant que tel il s’est incorporé aux équations pour ket et valeurs propres d’une observable quantique.

* Cependant que le modèle mathématique général (non-local) d’un microétat physique et individuel était – plus ou moins clairement – représenté par une ‘fonction d’onde individuelle’ de la forme $a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$.

* Mais, pratiquement dans le *même* temps, cette ‘fonction d’onde individuelle’ $a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}$ s’est métamorphosée en une ‘fonction d’onde statistique’ rattachée au microétat étudié, dont le module carré de l’amplitude, $|a(x,t)|^2 \equiv |a(x,t)e^{i\varphi(x,t)}|^2$, a été posé

représenter ‘la probabilité de présence’²¹⁵. Ainsi commençait la grande danse des confusions des niveaux de conceptualisation.

* Quant à la loi de guidage de Louis de Broglie, elle a été formulée d’emblée, mais de manière trop implicite (dans le théorème de concordance de la phase de la vibration de la singularité ‘corpusculaire’ dans l’amplitude de l’onde d’un microétat, et la phase de la vibration de l’amplitude autour de la singularité). Puis elle s’est éteinte dans la pensée publique jusqu’à sa reprise dans l’*interprétation causale et non-linéaire de la mécanique ondulatoire* [1956].

La représentation de D. Bohm [1952], d’autre part, a été d’emblée introduite en tant qu’une *interprétation de la formulation Hilbert-Dirac de la mécanique quantique* et c’est elle qui a déclenché l’exposé par Louis de Broglie de son ‘interprétation’ par double solution [1956].

C’est l’ensemble de ces deux interprétations qui est dénoté ici ‘*ddb*’. Il fournit un substrat remarquablement utile de modélisation mathématique, mais qui échappe à l’observable.

8.3. Caractéristiques globales de la structuration de *MQ2*

La représentation interne de *MQ2* obéit strictement à la *structure-cadre* construite dans *IMQ* :

* Il existe deux strates principales de conceptualisation des microétats, la strate individuelle, et la strate statistique-probabiliste. La strate statistique contient un niveau statistique-probabiliste de base, et un méta-niveau de corrélations entre des statistiques différentes.

* Les strates statistiques-probabilistes sont construites explicitement et successivement à partir de la strate de conceptualisation individuelle, via des ‘successions de mesure codantes’.

* *Toutes* les successions de mesure codantes sont *individuelles* et elles ont la structure générale $[G.Mes_c(A)]$ imposée par la structure-cadre *IMQ* introduite comme une structure de référence. *Cette structure de référence plante l’origine de toute succession de mesure, dans la factualité microphysique.*

** Dans *IMQ* un modèle de microétat et une procédure de codage des résultats observables d’une succession de mesure $[G.Mes(A)]$ guidée par ce modèle, sont seulement *exigés*, mais ne sont pas spécifiés (ce blanc souligne la distinction entre aspects d’une représentation de principe de *toute* conceptualisation de microétats, et aspects d’une représentation donnée, qui comportent nécessairement une modélisation des microétats, inévitablement restrictive).

** Dans *MQ2* un modèle de microétat est spécifiée explicitement, et il est employé afin d’identifier les procédures de codage possibles dans le cas considéré. Ceci constitue une spécificité essentielle de *MQ2* face à *MQHD*.

²¹⁵Selon la terminologie assainie construite dans ce travail, il s’agit là d’une *probabilité* – un nombre concernant un ensemble de possibilités – pour que, lors d’une *mesure* de ‘position’ sur un *exemplaire physique et individuel* $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G , de trouver ‘le microétat’ au point d’espace-temps (x,t) (i.e. que la singularité d’un exemplaire individuel de ce microétat se manifeste au point (x,t)).

8.3.1. *Adduction de contenus essentiels de dBB dans le processus de construction des connaissances ‘scientifiques’ de MQ2*

Bien au-delà l’adaptation des résultats de 7.4 et 7.5 concernant la représentation des mesures quantiques, l’observabilité présumée des traces de guidage pour tout microétat progressif, ouvre une perspective proprement énorme.

IMQ associée à *dBB*, permet de *fonder* l’entière approche de *MQ2* en établissant en amont une connexion explicitement *construite* – pas postulée – avec la mécanique *classique* macroscopique, pour *tout* microétat. La possibilité d’une représentation Hilbert-Dirac se *détache* ensuite de cette émergence formelle initiale et générale, pour le cas *particulier* des microétats progressifs sans champ quantique (et peut-être aussi, toujours, pour l’*observable H* d’énergie totale (cf. la note du point 7.6.2 concernant l’observable *H*)).

Il a déjà été mentionné que *dBB* peut être regardée comme une *métaphysique du ‘réel microphysique’* exprimée à l’aide de *mathématiques* et qu’elle se rattache à la formulation de Jacobi de la mécanique classique. Il s’agit probablement du tout premier système d’un domaine du réel physique, qui, tout en ayant un caractère métaphysique, est exprimé en termes mathématiques.

Or au cours du processus de construction de *MQ2*, la modélisation d’un microétat – annoncée comme inévitablement nécessaire déjà dans *IMQ* – a été effectivement accomplie selon le postulat de modélisation $\mathcal{P}(me_{G-oc})$ (6.2.3). Ce postulat combine le modèle *onde avec singularité à caractères corpusculaires dans l’amplitude* de Louis de Broglie, et le concept *IMQ* d’opération de génération *G* d’un exemplaire individuel $me_{G.exi}$ du microétat étudié me_G , d’une manière telle qu’elle permet de délimiter des *entités-objets-d’étude scientifique* (microétats). Cependant que l’inévitable nécessité d’un codage des effets observables d’un acte de mesure, en termes d’une valeur définie de la grandeur mesurée, achève l’adduction dans la *connaissance consensuelle*, d’un élément d’‘information’ concernant le microétat étudié.

Le trio $(G, \mathcal{P}(me_{G-oc}), [G.Mes_c(A)])$ agit comme un canal d’adduction d’information, à partir de *dBB*, de contenus qui, dans *MQ2*, via une représentation satisfaisante des mesures quantiques, conduit à une représentation générale de *connaissances* concernant des microétats, vérifiables, consensuelles, scientifiques.

Ainsi s’établit une relation profonde entre *MQ2* et la théorie des communications d’information. Dans le cas de la théorie de Shannon la source d’information est humaine, comme aussi le récepteur d’information. Cependant que dans le cas des sciences, et notamment de *MQ2*, la source d’information est a-humaine. *Mais le canal de transmission est fabriqué par l’homme* et il est constitué par le trio fondamental $(G, \mathcal{P}(me_{G-oc}), [G.Mes_c(A)])$.

8.3.2. *Connexion explicite de MQ2 avec la formulation de Jacobi de la mécanique classique*

Les contours conceptuels de *MQ_{HD}* sont *découps net* à l’aide de postulats directes, relativement très nombreuses (cf. dans 4 les postulats ‘de représentation’ et ceux ‘de mesure’), souvent arbitraires, et qui en outre *confondent* subrepticement le factuel,

avec le conceptuel abstrait (des marques physiques observables sur des enregistreurs, sont identifiées avec des valeurs propres a_j d'une observable A).

Or l'inclusion de dBB parmi les domaines-source de $MQ2$, permet d'entreprendre la construction d'une véritable unification conceptuelle-mathématique de la mécanique classique et l'optique ondulatoire, avec $MQ2$; une unification par déductions, choix méthodologiques déclarés, etc. (cf. 7.5.3).

Cette possibilité est ouverte par le fait que Louis de Broglie a construit son interprétation causale de MQ_{HD} à partir de la formulation de Jacobi de la mécanique classique, en y supprimant le confinement à l'approximation géométrique. Sur la grande carte du territoire de conceptualisation interprétative mathématisée de Louis de Broglie [1956] l'association $[IMQ+MQ2]$ construit des réseaux de 'canaux de transmission d'information' (au sens défini dans chapitre 6), *sans opérer des coupures postulatoires arbitraires*. Ainsi peuvent notamment être détaillées en termes spécifiés, *déductifs*, et organisées en un Tout :

* Les différentes considérations développées dans 6.2, 6.3 et 6.6 afin d'expliquer :

** L'origine et la signification de l'équation pour fonctions et valeurs propres des observables quantiques.

** Le rôle essentiel, dans toute théorie acceptable des mesures sur des microétats, de l'opération de génération G des exemplaires $me_{G.exi}$ physiques, individuels et actuels du microétat étudié me_G .

** Les raisons exactes de la *non-validité* du postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ pour les microétats progressifs à champ quantique non-nul.

** Les *raisons* exactes de la *validité* du postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ pour les microétats progressifs sans champ.

Sur la base de l'explicitation de ces raisons, le postulat $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ transmute en une procédure renotée $Proc[Cod(PMBGB)]$ qui est établie déductivement, sur la frontière entre $MQ2$ et la mécanique classique. Il rejoint ainsi le statut des procédures $Proc[Cod.p(tr.guid.)]$ et $Proc[Cod.r - p(tr.guid.)]$ de codage par trace de guidage introduites dans 7.5.5.

$MQ2$ se constitue donc comme une représentation *insérée* explicitement dans la conceptualisation environnante, à savoir la mécanique classique et l'optique ondulatoire telles que Jacobi les a réunies dans leurs principes. Ainsi, à la place d'une ceinture de postulats qui *isolent* de la mécanique classique et de l'optique ondulatoire comme des murs opaques, $MQ2$ installe des canaux d'adduction d'information, placées à des endroits-clé de frontières poreuses entre la mécanique classique, la représentation dBB , IMQ et MQ_{HD} .

Le schéma qui suit spécifie les grands traits de cette insertion :

La mécanique classique (formulation de Jacobi)

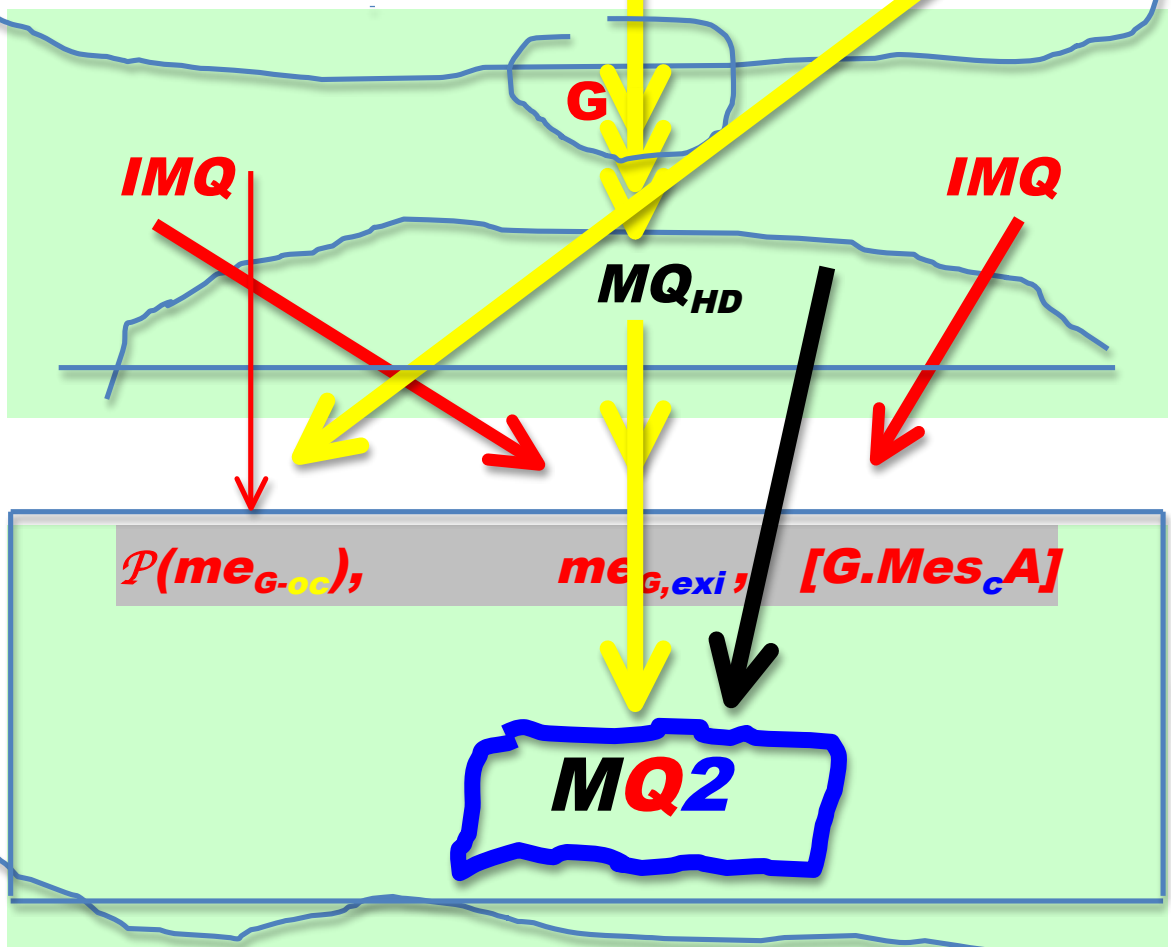
Zone de l'approximation d'optique géométrique.



Zone sous-jacente à celle de l'approximation d'optique géométrique



**La représentation dBB,
le modèle séminal d' 'onde corpusculaire' de
Louis de Broglie**



8.3.3. Postulats et construits internes fondamentaux

8.3.3.1. Postulats

Les canaux $(G, P(me_{G-oc}), [G.Mes_c(A)])$ d'adduction d'information définis dans 8.3.1 permettent de limiter à ce qui suit les postulats de MQ2.

1. *L'observabilité des traces de guidage* (postulat provisoire, en attente du verdict de l'EXP.1).

2. Le postulat $\mathcal{P}(me_{G-oc})$ de *modélisation d'un 'microétat'*.

3. Postulats de *représentation mathématique* : Les définitions – séparées – de L. de Broglie [1956], de :

3.1. la *fonction d'onde individuelle* $u_G(\mathbf{r}, t) = \alpha(\mathbf{r}, t)e^{i\phi(\mathbf{r}, t)}$ à *singularité 'corpusculaire'*, qui décrit les phénomènes ondulatoires physiques comportés par les exemplaires individuels $me_{G.exi}$ du microétat étudié me_G correspondant à l'opération de génération G .

3.2. la *fonction d'onde statistique* $\Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)}$ ²¹⁶ associée à me_G .

3.3. la représentation d'une grandeur classique $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$, *symétrisée*, par l'observable MQ_{HD} correspondante \mathbf{A} .

4. Le postulat de Schrödinger – peut-être provisoire – *d'évolution de la fonction d'onde* $\Psi_G(\mathbf{r}, t)$ *statistique*, tel que ce postulat est défini dans dB , dans la mécanique ondulatoire, et dans MQ_{HD} .

5. Un postulat *d'évolution d'une fonction d'onde individuelle* $u_G(\mathbf{r}, t) = \alpha(\mathbf{r}, t)e^{i\phi(\mathbf{r}, t)}$ à *singularité 'corpusculaire'* (probablement d'une structure analogue à celle de l'équation d'évolution d'une onde électromagnétique). (Mais ce serait l'équation d'évolution d'une onde 'corpusculaire' : **Micro-gravitationnelle ? Qui sait ?**)

6. Le postulat de *probabilité de 'présence' à la position \mathbf{r}* :

$$p^t(\mathbf{r}) \equiv (|\Psi_G(\mathbf{r}, t)|^2 = |a(\mathbf{r}, t)|^2)$$

8.3.3.2. Construits internes fondamentaux

À partir de ces 6 postulats (dont 3 de représentation, pas liés au factuel), les construits internes s'obtiennent déductivement. Par exemple :

La loi de guidage (24) de Louis de Broglie est construite *déductivement*. Notamment, *les évolutions de mesure codantes* (9), (9'), (9'') et (9'''), *c'est-à-dire les procédures de codage, sont construites déductivement*. Toutes les autres données nécessaires peuvent en principe être construites déductivement à l'intérieur de MQ2.

²¹⁶Nous ne reprenons *pas* ici la vue de L. de Broglie de « double solution » d'une *même* équation d'évolution pour ces deux sortes de fonctions d'état.

8.3.4. La structure interne de MQ2

* Considérons d'abord le groupe suivant d'éléments descriptionnels (quelque soit le statut logique de tel ou tel parmi eux, postulat, ou définition, ou élément introduit via *IMQ*) :

(a) le postulat 2 de modélisation $\mathcal{PM}(me_{G,oc})$;

(b) le concept de canal d'adduction d'information observable et consensuelle constitué par le trio $(G, \text{mathpzcP}(me_{G-oc}), [G.Mes_c(A)])$ (construit dans *MQ2* en associant *IMQ* et *dBB*) ;

(c) les procédures de codage $\text{Proc.}[Cod.\mathbf{p}(tr.guid.)]$ et $\text{Proc.}[Cod.\mathbf{r} - \mathbf{p}(tr.guid.)]$ par trace de guidage des valeurs des grandeurs fondamentales \mathbf{r} et \mathbf{p} ;

(d) les définitions d'une 'fonction d'onde individuelle à singularité' $u_G(\mathbf{r}, t) = \alpha(\mathbf{r}, t)e^{i\phi(\mathbf{r}, t)}$, et d'une 'fonction d'onde statistique' $\Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)}$;

(e) le postulat 6 de calculabilité de la probabilité de présence $p^t(G, \mathbf{r}) \equiv (|a(\mathbf{r}, t)|^2 = |a(\mathbf{r}, t)|^2 = |a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)}|^2)$ à partir de la fonction d'onde statistique $\Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)}$;

(f) le postulat 4 d'évolution Schrödinger de la fonction de l'onde *statistique* $\Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)}$.

En utilisant ces éléments descriptionnels l'on peut organiser déductivement dans *MQ2* une première strate de représentation mathématique, valide pour *tout* microétat progressif.

8.3.4.1. Une strate conceptuelle-mathématique fondamentale de MQ2 valide pour des microétats progressifs quelconques.

Ce qui suit *n'est pas une élaboration*, ce n'est que l'esquisse d'une approche.

Afin de ne pas préjuger concernant la vérification de la prévision (23) (et des autres prévisions calculées dans *MQ_{HD}* selon le formalisme hilbertien, pour des microétats à champ quantique non-nul, nous delinéons dans ce qui suit une formalisation de base *non-hilbertienne*, valide pour tout microétat progressif.

L'on procède d'une manière très similaire à celle employée dans 7.5.5 pour construire une représentation des mesures quantiques pour la seule catégorie des microétats progressifs avec champ quantiques, mais *le formalisme hilbertien n'est pas encore introduit*.

L'on part de l'expression d'une grandeur mécanique classique *A* comme une fonction $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$ de \mathbf{r} et \mathbf{p} (symétrisée). Factuellement, la valeur \mathbf{r} de la position (face au référentiel du laboratoire) est déterminée par l'impact immédiat sur un milieu sensible, du début de la trace de guidage enregistrée afin de mesurer selon (8') la 'valeur de guidage' de la quantité de mouvement \mathbf{p} .

On n'introduit *pas* le cadre de représentation mathématique Hilbert-Dirac (on ne dispose donc pas d'observables *MQ_{HD}*, ni du concept de base dans un espace Hilbert, etc.).

- Nous utilisons ensuite spécifiquement le postulat 6 de probabilité de 'présence' à la position \mathbf{r} (où \mathbf{r} est le vecteur de position à projections (x, y, z) face au référentiel du laboratoire) afin de *montrer* que l'on est *conduit* à postuler – en plus des postulats posés d'emblée dans 8.3.3.1 – que la probabilité $\pi^t(\mathbf{p}_j)$ d'une valeur \mathbf{p}_j de la grandeur classique

\mathbf{p} , la valeur MQ_{HD} :

$$\pi^t(\mathbf{p}_j) = |c(\mathbf{p}_j, t)|^2$$

où $c(\mathbf{p}_j, t)$ est le coefficient de la composante qui, au moment considéré t , correspond à \mathbf{p}_j (via l'égalité $\mathbf{p}_j = h/\lambda_j$) dans la *décomposition Fourier* de la fonction d'onde *statistique* $\Psi(x, t) = a(x, t)e^{i\varphi(x, t)}$ associée au microétat étudié me_G (le mot 'probabilité' est symbolisé ici par ' π ' afin d'éviter toute confusion) (ce postulat est justifié en détail plus loin). En effet :

Pour les grandeurs fondamentales (\mathbf{r}, \mathbf{p}) l'on dispose de deux sortes d'évolutions de mesure, au choix. L'évolution de mesure introduite dans 7.5.4.1,

$$[(G \leftrightarrow me_{G,exi}).Mes_c(\mathbf{p})(me_{G,exi})] \leftrightarrow_{tr.guid.obs.} \mathbf{p}(\mathbf{r}, t) \quad (9'')$$

ou l'évolution de mesure

$$[(G \leftrightarrow me_{G,exi}).Mes_c(\mathbf{r} - \mathbf{p})(me_{G,exi})] \leftrightarrow_{tr.guid.obs.} (\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r}))(t) \quad (9''')$$

introduite dans 7.5.5.1 sur la base de la procédure de codage *simultané Proc.[Cod. $\mathbf{r} - \mathbf{p}(tr.guid.)$]*.

Elles valent toutes les deux pour tout microétat progressif (CI(7.5.5), 7.5.5.2).

Plaçons-nous maintenant dans *IMQ*. Soit $[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall V_X \in V_M), Mlp(me_G)]$ la symbolisation du microétat me_G que l'on veut étudier (2.7). Elle représente l'ensemble des statistiques établies par voie *factuelle* via des successions de mesure $[G.Mes_c(A)]$ (exigées codantes, mais non-définies).

Soit d'autre part, dans le cadre de *MQ2*, la fonction d'état statistique $\Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)}$ qui représente – dans *MQ2* – le même microétat étudié me_G qui, dans *IMQ*, est représenté par la statistique $D_M^t(me_G)$. Nous disposons de la relation

$$[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, a_j)\}, j = 1, 2, \dots, J, \forall A), Mlp(me_G)] \leftrightarrow \Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\varphi(\mathbf{r}, t)} \quad (29)$$

de 7.5.5.1 (où ' $\forall A$ ' remplace le signe de 'vue mécanique V_M ').

Afin de mesurer une paire de valeurs $(\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r}))$ sur un exemplaire individuel $me_{G,exi}$ de me_G , l'on utilise les successions de mesure codantes (9''') qui conduisent chacune à une paire de valeurs $(\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r}))$. En termes de *IMQ* cela conduira à une description statistique

$$[(D_M^t(me_G) \equiv \{p^t(G, (\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})))\}, k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, J, \forall A), Mlp(me_G)]$$

et celle-ci sera vérifiée en refaisant des successions de mesure codantes (9''').

Considérons maintenant les assertions *Ass.1-Ass.5* établies dans 7.4 pour les microétats $me_{Gnc}(prog.Is)_{e\#q}$.

L'assertion *Ass.1* – absolument générale – reste valide : Une représentation mathématique quelconque de $D_M^t(me_G)$ n'est acceptable que si sa *vérification* via des actes de mesure $\{Mes(A), \forall A\}$ – quelle que soit la représentation *mathématique* des processus de vérification – reproduit le contenu factuel du descripteur $D_M^t(me_G)$ de *IMQ*.

Cette assertion s'étend avec *évidence* au cas spécial de mesures conjointes $(\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r}))$ via des successions de mesure (9''').

Dans *IMQ*, les successions de mesure (9''') permettront d'établir factuellement la description statistique $D_M^t(me_G)$ qui consiste en la loi de probabilités *conjoints* $\{p^t(G, (\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})))\}, \forall(\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r}))$

Déplaçons-nous dans *MQ2*. Supposons que l'équation d'évolution de Schrödinger a pu être écrite et résolue, et que nous disposons de la fonction d'onde statistique correspondante $\Psi_G(\mathbf{r},t) = a(\mathbf{r},t)e^{i\phi(\mathbf{r},t)}$.

Comment – selon MQ2 – s'opèrent les prévisions statistiques et leurs vérifications à l'intérieur de cette première strate de formalisation, non-hilbertienne, que nous sommes en cours de spécifier ?

Cette question conduit directement à une perception très claire du problème qui sous-tend la vérifiabilité de la prévision (23) de *MQ_{HD}* (7.5.5) :

La loi de probabilité $\{p^t(G,(\mathbf{r})), \forall \mathbf{r}\}$, de 'présence' peut être calculée à partir de la fonction d'onde statistique $\Psi_G(\mathbf{r},t) = a(\mathbf{r},t)e^{i\phi(\mathbf{r},t)}$, via le postulat de probabilité de présence $p^t(G, \mathbf{r}) \equiv (|\Psi_G(\mathbf{r},t)|^2)$. Mais peut-on – dans *MQ2* – calculer aussi la loi de probabilité $\{p^t(G,(\mathbf{p}_j))\}, j = 1, 2, \dots, J$, qui concerne la statistique des valeurs de la quantité de mouvement ?

Dans le cadre mathématique hilbertien de *MQ_{HD}* l'on effectue la décomposition spectrale du ket d'état $|\Psi_G(\mathbf{r},t)\rangle$ sur la base de l'observable de quantité de mouvement \mathbf{P}_x dans l'espace Hilbert de représentation, et l'on applique le postulat de Born. Cela, via l'observable vectorielle \mathbf{P} de quantité de mouvement, conduit à une statistique de valeurs propres \mathbf{p}_j qui groupe ensemble les valeurs mutuellement égales de \mathbf{P} mais qui, d'autre part, est déconnectée du point de vue observationnel de la statistique des valeurs de 'présence' (les 'valeurs propres' de l'observable vectorielle de position \mathbf{R})²¹⁷ : le fameux problème des probabilités conjointes de position et quantité de mouvement (MMS [1977, 1979]).

Mais dans la première strate de formalisation de *MQ2* qui est en cours de spécification ici, les 'observables quantiques' hilbertiennes \mathbf{P} et \mathbf{R} ne sont pas définies. D'autre part, chaque succession de mesure codante est explicitement placée sur le niveau individuel de conceptualisation et donc elle implique explicitement un exemplaire individuel $me_{G.exi}$ du microétat étudié me_G , à fonction d'onde individuelle $u(x,t) = \alpha(x,t)e^{i\phi(x,t)}$. Et la loi de guidage

$$\mathbf{p}(\mathbf{r},t) = -\text{grad}.\Phi(\mathbf{r},t) \quad (24)$$

relie à tout moment t , chaque valeur $\mathbf{p}(\mathbf{r},t)$ de la grandeur \mathbf{p} , à une valeur de la grandeur de position \mathbf{r} , via le gradient de la phase $\phi(\mathbf{r},t)$ de la fonction d'onde individuelle $u(\mathbf{r},t) = \alpha(\mathbf{r},t)e^{i\phi(\mathbf{r},t)}$. Cependant que – selon notre pari-hypothèse que l'EXP.1 doit vérifier l'observabilité des traces de guidage – la phase $\Phi(\mathbf{r},t)$ d'un exemplaire individuel $me_{G.exi}$ transparait dans le domaine de l'observable via son gradient. En ces conditions chaque succession de mesure (9''') produit une paire de valeurs conjointes $(\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r}))$. Mais cependant que la probabilité de 'présence' est définie à partir de la fonction d'onde statistique via le postulat de probabilité 6 de 'présence' $p^t(\mathbf{r}) \equiv (|\Psi(\mathbf{r},t)|^2 = |a(\mathbf{r},t)|^2)$, dans *MQ2* la probabilité $\pi^t(G,(\mathbf{p}_j))$ de (29) qui concerne spécifiquement une valeur $\mathbf{p}_j(\mathbf{r})$ de \mathbf{p} donnée, n'est pas posée fromellement à l'avance. La loi de guidage (24) ne définit que la valeur $\mathbf{p}_j(\mathbf{r})$, pas aussi sa probabilité. Mais d'autre part, en conséquence des considérations éparées au cours des chapitres 6 et 7, nous avons mis en évidence que, autour du point d'espace-temps (\mathbf{r},t) où se trouve la singularité à aspects corpusculaires de l'onde physique représentée par la fonction d'onde individuelle $u_G(\mathbf{r},t) = \alpha(\mathbf{r},t)e^{i\phi(\mathbf{r},t)}$, comportée par un exemplaire individuel $me_{G.exi}$ du microétat étudié me_G , la structure de la phase

²¹⁷ Un concept hautement dégénéré, forcé, approximatif dans son principe, si l'on peut dire, à fonctions propres $\delta(x,t)$ de Dirac-Schwartz

$\phi(\mathbf{r}, t)$ de $u_G(\mathbf{r}, t) = \alpha(\mathbf{r}, t)e^{i\phi(\mathbf{r}, t)}$ est précisément celle qui, dans MQ_{HD} est celle de la fonction d'onde que l'on place dans un ket propre de l'observable quantique \mathbf{P} de quantité de mouvement (6.2.2.1). Et :

Cette structure de fonction d'onde est du type qui intervient dans les fonctions d'une base de décomposition *Fourier* classique.

En outre, le principe de décomposabilité-Fourier – dans la mesure où il est valide – s'applique aux fonctions d'onde tout à fait *indépendamment* du cadre de représentation Hilbert-Dirac.

Dans ces conditions, il semble naturel d'utiliser – indépendamment du cadre Hilbert-Dirac – la décomposition Fourier de la fonction d'onde *statistique* $\Psi_G(\mathbf{r}, t) = a(\mathbf{r}, t)e^{i\phi(\mathbf{r}, t)}$ associée au microétat étudié me_G , et d'introduire – au cours de la formalisation de la strate fondamentale de MQ_2 qui est en cours d'être spécifiée ici – un postulat

$$7. \pi^t(\mathbf{p}_j) = |c(\mathbf{p}_j, t)|^2$$

selon lequel la probabilité $\pi(\mathbf{p}_j)$ d'une valeur donnée \mathbf{p}_j de \mathbf{p} est bien celle posée dans MQ_{HD} , mais que dans MQ_2 une valeur \mathbf{p}_j de \mathbf{p} s'associe toujours à une valeur définie de position à l'intérieur d'une paire conjointe $(\mathbf{r}, \mathbf{p}_j(\mathbf{r}))$, et que, contrairement à ce qui est présumé dans MQ_{HD} , la *vérification* de cette prévision ne peut s'accomplir qu'à l'aide de successions de mesure (9''') qui codent par trace de guidage.

Cette manière d'introduire le postulat revient alors à concevoir que l'incapacité du cadre Hilbert-Dirac de loger des évolutions de mesure codantes pour l'observable \mathbf{P} de quantité de mouvement lorsque l'on étudie un microétat progressif avec champ quantique, provient exclusivement du fait suivant.

Considérons une succession de mesure de l'observable \mathbf{P} de quantité de mouvement, qui implique l'exemplaire individuel $me_{G.exi}$ du microétat étudié me_G à champ quantique non-nul. Considérons la singularité à aspects 'corporels' dans l'amplitude de l'onde physique comportée par $me_{G.exi}$. Celle-ci se trouve en un point d'espace-temps (\mathbf{r}, t) où la structure de la phase $\Phi(\mathbf{r}, t)$ de cette onde physique individuelle est celle représentée par une fonction d'onde individuelle qui, dans la base d'une décomposition-Fourier, intervient dans un ket propre de \mathbf{P} . Or, vraisemblablement :

En présence d'un champ quantique, cette structure-Fourier de la phase de l'onde physique de $me_{G.exi}$ ne peut pas être *utilisée* de manière à ce que la procédure de codage par localisation $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ soit applicable.

Car en ce cas *cette structure de phase est construite à chaque instant par un phénomène physique qui ne peut pas être fixé dans le temps*, ne peut pas être pérennisé au cours de toute une évolution de mesure compatible avec des localisations spatiales codantes spécifiques d'une valeur donnée \mathbf{p}_j et une seule, *isolée* spatialement de toute autre valeur \mathbf{p}'_j via une évolution Schrödinger produite par un hamiltonien \mathbf{H} qui commute avec \mathbf{P} (i.e. qui n'implique pas des champs *macroscopiques*, 'extérieurs') : La condition de commutation $(\mathbf{H}, \mathbf{P}) = 0$ ne suffit pas dans ce cas, *parce que à l'intérieur de 'me_{G.exi}' il y a un champ quantique non-macroscopique qui agit sur la dynamique de la singularité dans l'amplitude de l'onde.*

MQ_{HD} ne qualifie que les dynamiques d’une singularité d’un exemplaire $me_{G,exi}$ du microétat étudié me_G qui sont commandées exclusivement par des champs macroscopique ‘extérieurs’ à $me_{G,exi}$. Cependant que l’approche dB tient compte de ‘l’intérieur’ des $me_{G,exi}$, bien que cet ‘intérieur’ soit *non-délimité spatialement* et que, en cela aussi, il s’agisse d’une entité physique foncièrement différente du concept classique d’“objet” matériel²¹⁸²¹⁹.

Les considérations qui précèdent suggèrent que *les prévisions statistiques (23) de MQ_{HD} sont probablement valides, nonobstant le fait que les évolutions de mesure codantes correspondantes ne sont pas définissables dans MQ_{HD} .*

À la lumière de ces considérations l’on perçoit que :

- La représentation dB des microphénomènes qualifie *l’intérieur* des microphénomènes, mais qui n’est pas explicitement divisé en “objets”.
- MQ_{HD} ne qualifie que les aspects observables que l’on peut tirer des microphénomènes via des manipulations extérieures macroscopiques, mais elle s’empêtre dans une représentation déficiente des manières d’atteindre ce but parce qu’elle ne tient pas compte de la possibilité que l’état interne d’un microphénomène puisse influencer des manifestations observables de ce microphénomène.
- Enfin :

MQ_2 , sur la base IMQ qu’elle incorpore, engendre à partir des microphénomènes conçus conformément à dB , des ‘microétats’ accessibles à l’observation, et elle permet d’étudier à la fois leurs ‘intérieurs’ incomplètement délimités, et leurs manifestations extérieures, en associant la représentation dB à la représentation Hilbert-Dirac, et en introduisant des évolutions de mesure codantes (9) et (9’), à utiliser selon le cas considéré.

Ajoutons ceci. Calculer et vérifier des prévisions statistiques concernant les valeurs p_j de la grandeur fondamentale de quantité de mouvement \mathbf{p} dans un microétat progressif à champ quantique non-nul, ouvre dans MQ_2 la possibilité importante de *comparer* les résultats factuels et les résultats obtenus à l’aide des deux descripteurs mathématiques $\Psi_G(\mathbf{r},t) = a(\mathbf{r},t)e^{i\varphi(\mathbf{r},t)}$, et $u_G(\mathbf{r},t) = \alpha(\mathbf{r},t)e^{i\phi(\mathbf{r},t)}$. Ces comparaisons sont à élaborer attentivement. Elles pourraient conduire à démontrer que la fonction de phase $\varphi(\mathbf{r},t)$ de la fonction d’onde statistique associée au microétat étudié me_G , $\Psi_G(\mathbf{r},t) = a(\mathbf{r},t)e^{i\varphi(\mathbf{r},t)}$, possède face à l’ensemble des fonctions de phase $\Phi(\mathbf{r},t)$ des fonctions d’onde individuelles $u_G(\mathbf{r},t) = \alpha(\mathbf{r},t)e^{i\phi(\mathbf{r},t)}$ qui décrivent les phénomènes ondulatoires physiques comportés par les exemplaires individuels $me_{G,exi}$ du microétat me_G , une signification *de moyenne pondérée par la probabilité de présence* $p^l(\mathbf{r}) \equiv |a(\mathbf{r},t)|^2$ au point (\mathbf{r},t) considéré. Alors, dans la fonction d’onde statistique $\Psi_G(\mathbf{r},t) = a(\mathbf{r},t)e^{i\varphi(\mathbf{r},t)}$, les fonctions d’amplitude et de phase pourraient révéler une *corrélacion déductible, bien définie*. Cela guiderait pour établir aussi une distinction bien définie entre la loi d’évolution de la fonction d’onde statistique

²¹⁸Il se peut que précisément un raisonnement de ce genre ait été l’origine cachée de la scission entre la mécanique ondulatoire, et la reformulation Hilbert-Dirac, conçue comme valide pour tout microétat, en conséquence de l’ignorance du problème de la spécification d’évolutions de mesure codantes.

²¹⁹Dans l’optique ondulatoire et dans l’électromagnétisme les décompositions de Fourier, où les coefficients des fonctions de la base de fonctions de Fourier mesurent par leur carré *l’intensité* de la composante, correspondent à des décompositions spectrales *factuelles* (à l’aide de ‘prismes’) qui *vérifient* la décomposition calculée. Cela a suggéré sans doute dans MQ_{HD} les décompositions spectrales généralisées et les codages par localisation $Proc[Cod(PMBGB)]$, qui ont été imaginés être toujours possibles. Or, paradoxalement, précisément la grandeur fondamentale de quantité de mouvement \mathbf{p} qui via la relation $|\mathbf{p}| = h/\lambda$ a conduit à la mécanique ondulatoire en se rattachant aux décompositions de Fourier d’ondes électromagnétiques, *résiste* au codage de ses valeurs par localisation $Proc[Cod(PMBGB)]$, si le microétat étudié comporte des champs quantiques.

$\Psi_G(\mathbf{r}, t)$ et la loi d'évolution d'une fonction d'onde individuelle $u_G(\mathbf{r}, t) = \alpha(\mathbf{r}, t)e^{i\phi(\mathbf{r}, t)}$.
L'équation de Schrödinger pourrait alors avoir à subir elle aussi des modifications.

Ici finit l'arrêt, dans la progression de l'esquisse globale de ce point, qui a été imposé par la question de la définition prévisionnelle statistique, dans *MQ2*, des probabilités des valeurs \mathbf{p}_j de la grandeur \mathbf{p} de quantité de mouvement.

Nous reprenons maintenant l'exposé global de la structure interne de la *première strate* de *MQ2*, celle qui est valide pour un microétat progressif quelconque. Nous procédons par comparaison avec l'approche construite pour le cas de microétats progressifs sans champ quantiques.

- Dans l'élaboration indiquée ci-dessous, l'assertion Ass.2 implique des successions de mesure (9'') et elle joue un rôle constructif fondé sur l'assertion .

- L'assertion A3 disparaît et laisse place à un examen direct des méta-corrélations entre les statistiques factuelles $\{p^f(G, a_j)\}$, $j = 1, 2, \dots, J$ de branches distinctes de l'arbre de probabilité du microétat étudié, obtenues toutes via des successions de mesure codantes (9'').

- L'Ass.4 est fondée, comme l'Ass.2, sur des successions de mesure codantes (9'').

- L'Ass.5(a) subsiste, mais face à la reformulation de Ass.4 fondée su (9''); cependant que Ass.5(b) **disparaît** en l'absence d'une définition Hilbert-Dirac d'une observable \mathbf{P} de quantité de mouvement, liée à une équation pour ket et valeurs propres.

- Chaque réalisation d'une évolution de mesure (9'''), en produisant une paire de valeurs $(\mathbf{r}_i, \mathbf{p}_j(ri))$, définit également, via les définition $A(\mathbf{r}, \mathbf{p})$, une valeur de toute autre grandeur mécanique.

Les étapes qui précèdent permettent d'étendre immédiatement la représentation des mesures quantiques établie dans 7.5, à un microétat progressif quelconque, avec ou *sans* champ quantique. Ceci qui précède indique donc la structure interne *générale* de la première strate formelle de *MQ2*, valide pour tout microétat progressif.

Cependant que les microétats liés sont considérés comme une bande frontalière entre microphysique classique et *MQ2*, au sens spécifié dans 7.6. (Les remarques concernant le dehors-dedans d'un microétat *lié*, face à l'observable \mathbf{H} d'énergie totale, pourraient se révéler fertiles pour cette entière première strate de formalisation *MQ2*).

8.3.4.2. Une strate formelle Hilbert-Dirac débordée factuellement pour la vérification, et à validité prévisionnelle dépendante de l'EXP.1

Importons maintenant la catégorisation des microétats définie dans 7.2.4 :

- La catégorie des *microétats progressifs à un seul microsystème, à opération de génération non-composée, sans champ quantique* dénotée $me(prog.1s)_{Gnc-ch.q}$.

- La catégorie *générale des micro-états à champ quantique*, dénotée $me_{Gcomp-ch.q}$.
Cette catégorie générale contient :

— La sous-catégorie dénotée $me(prog.Is)_{Gcomp-ch.q}$, des *microétats progressifs à opération de génération composée, à un seul microsystème, avec champ quantique*.

— La sous-catégorie dénotée $me(lié.Is)_{Gcomp-ch.q}$, des *microétats liés à opération de génération composée, à un seul microsystème, avec champ quantique*.

- Maintenons également la possibilité déjà signalée que : Les *microétats progressifs à opération de génération non-composée mais à deux ou plusieurs microsystèmes* pourraient impliquer des champs quantiques. Dénotons cette catégorie par $me(prog.ns)_{Gnc, n \geq 2}^{220}$.

À l'intérieur de $MQ2$ le postulat de codage $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ est à regarder comme une possibilité de coder qui est *particulière et déductible*, en tant que conséquence de l'absence de tout champ distinct des champs extérieurs macroscopiques. À savoir, une possibilité caractéristique des microétats progressifs sans champ quantique et compatible avec un cadre de représentation mathématique Hilbert-Dirac. De cette façon s'introduit dans l'intégration de $MQ2$ l'entier contenu de 7.4, c'est-à-dire, du traitement développé entièrement à l'intérieur de MQ_{HD} , mais mis en perspective à l'intérieur d'un traitement général des mesures quantiques.

Dans cette nouvelle perspective les contenus de 7.4 constituent une strate 'locale', particulière, superposée à l'ensemble des contenus généraux de 8.2-8.3, pour laquelle les définitions des évolutions de mesure codantes qui conviennent pour vérifier les prévisions formelles – $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ – peuvent être logées à l'intérieur du cadre mathématique Hilbert-Dirac.

Cependant que pour le cas de microétats progressifs à champs quantiques, cela n'est pas possible.

Ainsi se précise l'idée que le cadre de représentation mathématique Hilbert-Dirac est débordé factuellement par les contenus internes des microphénomènes, en ce sens précis qu'il ne peut pas loger les définitions d'évolutions de mesure codantes nécessaires pour *vérifier* les prévisions qui concernent des microétats progressifs avec champ quantique.

Mais du point de vue prévisionnel la représentation Hilbert-Dirac peut s'avérer valide généralement. Et si ceci est effectivement le cas, alors le formalisme MQ_{HD} peut être entièrement conservé en tant qu'outil prévisionnel, mais associé avec une évolution de mesure appropriée au type de microétat étudié, (9) ou (9') ou (9'') :
Seules les expériences EXP.1 et EXP.2 peuvent élucider cette situation conceptuelle.

Cette conclusion souligne une fois de plus l'enjeu de ces expériences.

8.4. Synthèse graphique : Les arbres de probabilité de $MQ2$

Nous synthétisons maintenant la structure interne de $MQ2$ par comparaisons d'un arbre de probabilité IMQ avec sa transposition dans $MQ2$.

²²⁰L'on pourrait peut-être explorer si, pour des mesures de la *quantité de mouvement*, les successions de mesure codantes par localisation $\mathcal{P}[Cod(PMBGB)]$ selon le formalisme Hilbert-Dirac s'accordent ou pas avec l'hypothèse de conservation d'une énergie totale *purement cinétique* : un champ quantique interne pourrait expliquer les corrélations statistiques liées à ce qu'on appelle 'le problème de non-localité'.

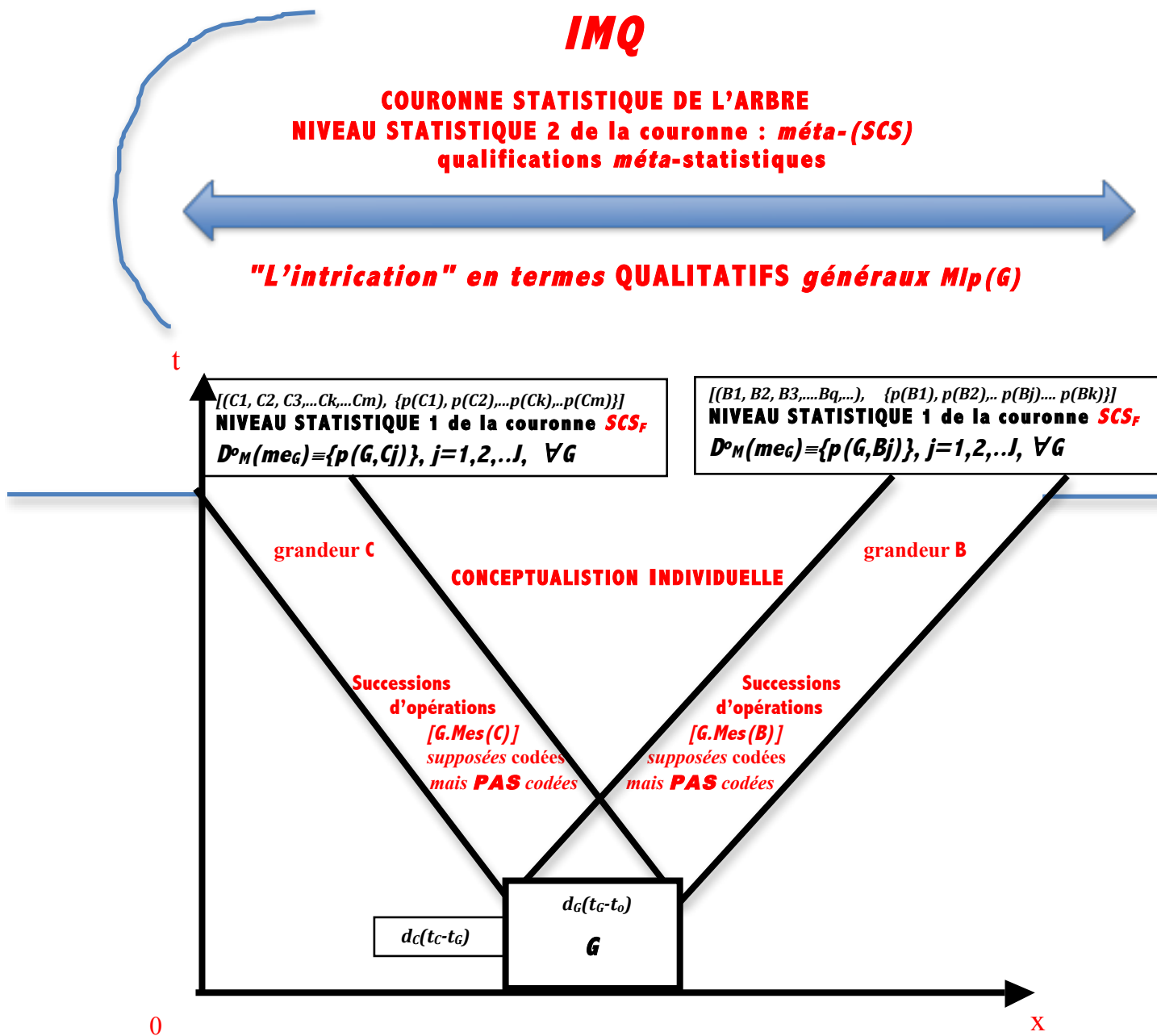


Fig. 7: Un arbre de probabilité $T[G, (V_M(B) \cup V_M(C))]$ dans IMQ, de l'opération de génération G d'un microétat non-lié.

- Successions d'opérations $[G.Mes(C)]$, physiques, individuelles, actuelles, **SUPPOSÉES** codées mais pas codées effectivement.

- Successions d'opérations $[G.Mes(B)]$, physiques, individuelles, actuelles, **SUPPOSÉES** codées mais pas codées effectivement

- Absence de modèle de microétat, ce qui exclut la codabilité effective.

**DANS IMQ TOUT CE QUI EST MESURE S'INTÈGRE À LA STRATE DE
 CONCEPTUALISATION INDIVIDUELLE**

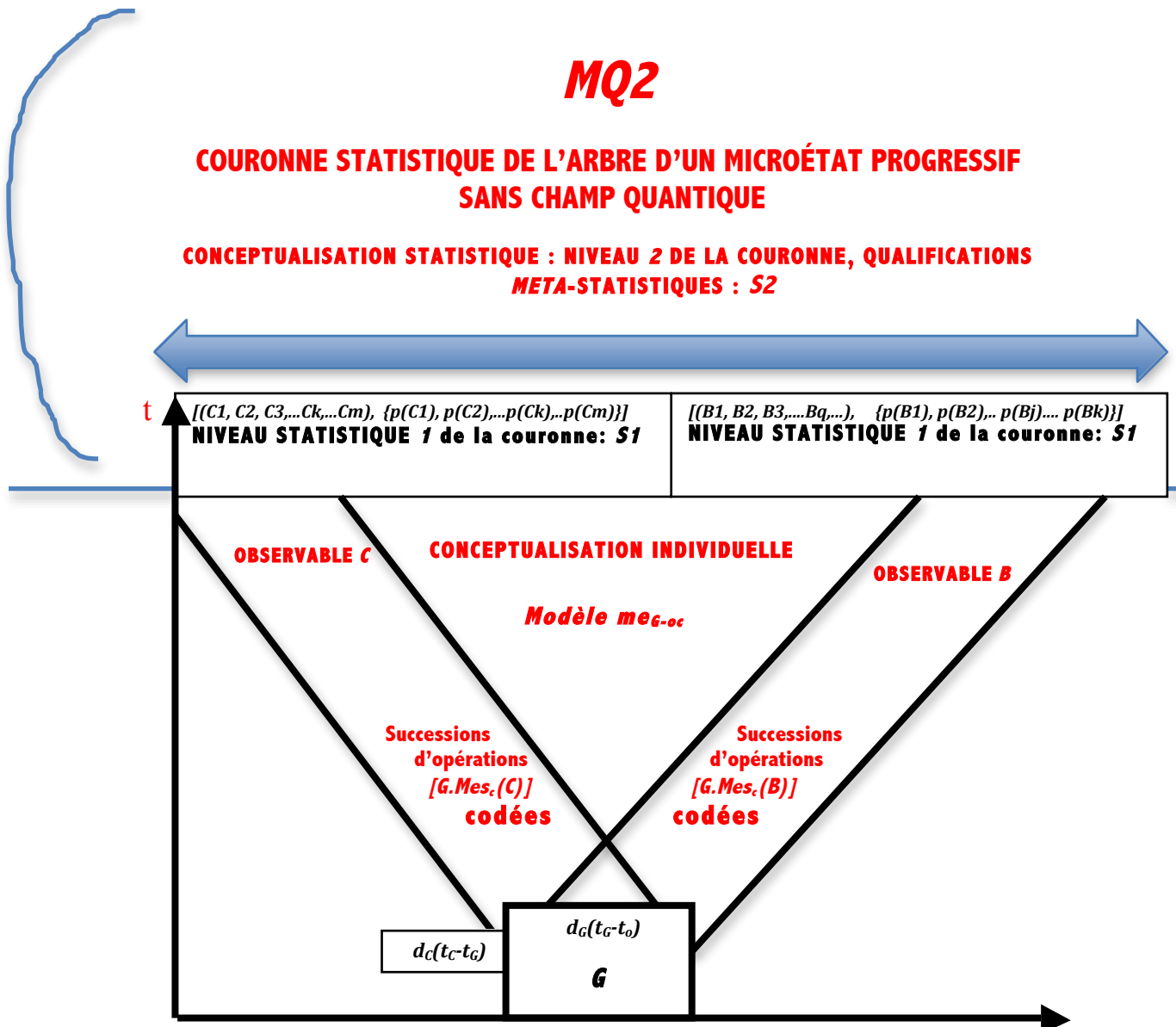


Fig. 8: Un arbre de probabilité $T[G, (V_M(B) \cup V_M(C))]$ de l'opération de génération G d'un microétat progressif.

- Procédure de codage : $\text{Proc}[\text{Cod}(\text{PMBGB})]$ ou $\text{Proc}[\text{Cod.r-p}]$ fondé sur le postulat modélisant $\mathcal{P}(me_{G-oc})$.
- Successions d'opérations $[G.Mes_c(C)]$ physiques, individuelles, actuelles, **CODÉES**.
- Successions d'opérations $[G.Mes_c(B)]$, physiques, individuelles, actuelles, **CODÉES**.

DANS LA STRUCTURATION REPRÉSENTATIONNELLE DE MQ2

**TOUT CE QUI EST MESURE EST REFAIT ET S'INTÈGRE A LA STRATE DE
CONCEPTUALISATION INDIVIDUELLE – COMME DANS IMQ – ET EN
CONSÉQUENCE DE CELA ECHAPPE RADICALEMENT A TOUT PROBLÈME DE RÉDUCTION
SUR LE NIVEAU DE REPRÉSENTATION STATISTIQUE TOUT CE QUI CONCERNE
LE CAS PARTICULIER DES MICROÉTATS DE LA CATEGORIE $me(\text{prog. } Is)_{Gnc-ct:q}$**

**SE SOUMET EN GROS AU FORMALISME MATHÉMATIQUE HILBERT-DIRAC.
POUR LES MICROÉTATS D'AUTRES CATEGORIES LE FORMALISME
MATHÉMATIQUE PUISE DANS LA REPRESENTATION dB (FONCTIONS D'ONDES) :
IL NE PEUT ÊTRE ACHEVÉ QUE SUR LA BASE DE L'EXPÉRIENCE EXP.1**

8.5. Conclusion du chapitre 8

Les contours de $MQ2$, ses insertions, et une esquisse de sa structure interne, viennent d'être indiqués. Ce résultat reste à être élaboré. Mais le terrain pour l'élaboration est assaini et doté d'avance d'une théorie générale des mesures quantiques.

9

La 2^{ème} MQ examinée de son extérieur

9.1. Universalité

Je voudrais dire quelques mots concernant l'impression d'universalité qui se dégage de la mécanique quantique.

L'on considère couramment que cette impression est liée au fait que tous les objets matériels sont des structures de microétats. Or je tiens que ce fait ne joue qu'un rôle indirect, à travers *une circonstance épistémologique et une circonstance formelle*.

- La circonstance *épistémologique* consiste dans le caractère très général du *type de description* qui émerge lorsqu'on veut étudier des microétats. Ce type de description a été mis en évidence dans *IMQ*. Il s'agit de descriptions 'transférées' $D/G, me_G, V/$ foncièrement premières, qui émergent irrépressiblement statistiques et irrépressiblement *relatives* à l'opération de génération G de l'entité-objet-d'étude, à l'entité-objet-d'étude produite elle-même, et à la grille de qualification V choisie.

Or ce *même* caractère relativisé émerge pour *toute* description primordialement première. *Ce caractère n'est nullement caractéristique des descriptions de microétats*. Il est caractéristique du fait que l'on conceptualise à partir d'une absence totale de conceptualisation accomplie précédemment, en ce qui concerne *spécifiquement* l'entité à décrire que l'on considère. Bien entendu, une telle absence totale de conceptualisation préalable ne peut être que locale. Mais – localement – elle est *totale*, elle marque un *zéro local et relatif* de conceptualisation pré-établie. Il se trouve que cette caractéristique, bien qu'elle ne soit pas rare, est devenue explicite pour la toute première fois dans la pensée, en relation avec la construction de connaissances concernant des microétats. Car en cette circonstance elle a atteint un degré de radicalité qui l'a rendue frappante et elle a entraîné des spécificités d'expression mathématique.

- La circonstance *formelle* mentionnée est suivante. La formulation actuelle de la mécanique quantique utilise des espaces de Hilbert. La structure algébrique d'espace Hilbert \mathcal{H} , via le théorème de Gleason, impose certaines propriétés générales de *forme* mathématique à *toute 'loi' de probabilité qui est représentée dans \mathcal{H}* , mais qui a été *établie factuellement en dehors de \mathcal{H}* . Et d'autre part, le concept de probabilité est omniprésent aussi bien dans les sciences que dans la vie courante.

Mais il est *illusoire* de croire qu'il puisse exister une relation *directe* entre la logique en général, ou les sciences sociales en général, etc., etc., avec, d'autre part – spécifiquement – *le concept de microétat*.

9.2. Faits, mathématiques, et connaissances

Par ailleurs – et c’est cela qui est essentiel – *MQ2* met en évidence des questions très générales et très fondamentales de relation, à l’intérieur d’une théorie physique, entre la factualité physique représentée, les connaissances recherchées, et le système formel mathématique utilisé. C’est par cette sorte de relations que la théorie introduit du contenu sémantique, du sens.

Or, en conséquence du vide sémantique que l’on laisse si souvent subsister dans une théorie de physique mathématique, les représentations mathématiques utilisées peuvent rester à la fois superfétatoires face aux contenus factuels et *déconnectées* d’eux.

En outre, le vide sémantique engendre des incompréhensions face auxquelles on ressent de l’impuissance. Et l’impuissance face à un formalisme, si elle dure, tend à se justifier en favorisant une réification du formalisme, une tendance à se comporter comme si ce formalisme incompris était de la même nature que des faits physiques inatteignables et inchangeables, comme une galaxie, ou l’attraction gravitationnelle. Et ainsi, à la limite, un formalisme incompris est divinisé. Dans la mesure où il conserve une bonne réputation il devient une idole. Cela ouvre la voie vers des développements inutiles et incontrôlables.

Le vide d’analyse sémantique suffisamment profonde, favorise également des poussées inertielles vers le but d’étendre toute structure mathématique-conceptuelle qui s’est avérée efficace dans un domaine donné, à *tout* domaine de faits physiques. En ce sens, on tend à absolutiser. C’est le cas actuellement face aux théories de relativité einsteiniennes. L’on s’avance ainsi tranquillement, laborieusement, comme les aveugles de Breughel, vers un abîme d’impossibles où s’engouffrent les efforts et les vies de ceux qui réfléchissent.

Pour toutes ces raisons il serait actuellement de la plus grande utilité de développer une recherche explicite d’une *épistémologie des créations humaines de connaissances concernant le réel physique*, et aussi, d’une *méthodologie* qui puisse optimiser cette sorte de créations.

Conclusion Générale

Le cheminement auquel a convié ce livre est arrivé à son terme.

Certains lecteurs l'auront sans doute ressenti comme étrange. Dans la mesure où il en a été ainsi c'est parce qu'on n'est pas habitué à ce qu'un physicien construise une nouvelle discipline opérationnelle-épistémologique-méthodologique en tant qu'une structure de référence pour qu'une autre discipline, déjà profondément installée, soit examinée et amendée.

Maintenant, puisque le cheminement a été accompli et les résultats sont exposés, tous les éléments sont réunis pour permettre, soit d'accepter la démarche, soit de la refuser à bon escient.

Bibliography

- Abbott, A. A., Calude, C. S., Conder, J., and Svozil, K. Strong Kochen-Specker theorem and incomputability of quantum randomness. *Physical Review A*, 86(062109), 2012. arXiv: 1207.2029.
- Abbott, A. A., Calude, C. S., and Svozil, K. On the unpredictability of individual measurement outcomes. *Centre for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science Technical Reports*, CDMTCS-458, arXiv:1403.2738, 2014a.
- Abbott, A. A., Calude, C. S., and Svozil, K. A quantum random number generator certified by value indefiniteness. *Mathematical Structures in Computer Science*, 24(3):e240303, 2014b.
- Aharonov, Y. and Vaidman, L. The two-state vector formalism of quantum mechanics: an updated review. *Lecture Notes in Physics*, 734:399–447, 2007.
- Anandan, J. Causality, symmetries and quantum mechanics. *Foundations of Physics Letters*, 15(5):415–438, 2002.
- Aspect, A., Dalibard, J., and Roger, G. Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers. *Physical Review Letters*, 49(1804), 1982a.
- Aspect, A., Grangier, P., and Roger, G. Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities. *Physical Review Letters*, 49(91), 1982b.
- Baquiast, J.-P. On the Einstein Podolsky Rosen paradox. *Physics*, 1(3):195–200, 1964.
- Baquiast, J.-P. *Pour un principe matérialiste fort*. DécohérenceS. Jean Paul Bayol, 2007.
- Bell, J. S. On the problem of hidden variables in quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 38(447), 1966.
- Beltrametti, E. G. and Maczynski, M. J. On a characterization of classical and non-classical probabilities. *Journal of Mathematical Physics*, 32:1280–1286, 1991.
- Berthoz, A. and Petit, J.-L. *Phénoménologie et physiologie de l'action*. Odile-Jacob, 2006.
- Bitbol, M. *Mécanique quantique: une introduction philosophique*. Champs-Flammarion, 1996.
- *Physique & philosophie de l'esprit*. Champs-Flammarion, 2000.
- *De l'intérieur du monde*. Flammarion, 2010.
- Bohm, D. *Quantum Theory*. Dover Publications, 1951.

- A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables, I and II. *Physical Review*, 85:166–193, 1952.
- Bordley, R. F. Reflection as an explanation of Bell’s inequality paradox. *Physics Letters A*, 6:239–243, 137.
- Boulouet, H. *Ingénierie Système Relativisée*. PhD thesis, Université de Valenciennes, 2013. Échanges privés au cours de l’élaboration de sa Thèse de Ph.D.
- Bricmont, J. Contre la philosophie de la mécanique quantique. In *Texte d’une communication faite au colloque “Faut-il promouvoir les échanges entre les sciences et la philosophie”*, pages 7–9. CR de l’Académie des Sciences Morales et Politiques archive, 1994. Sur *La non-localité et la théorie de Bohm*.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., and Laloë, F. (CTDL) *Mécanique Quantique*. Hermann, 1973.
- Cohen-Tannoudji, C., Dupont-Roc, J., and Grynberg, G. *Processus d’interaction entre photons et atomes*. EDP Sciences, 1996.
- Cohen-Tannoudji, C., Dupont-Roc, J., and Grynberg, G. *Photons et atomes – Introduction à l’électrodynamique quantique*. EDP Sciences, 2001.
- Dalla Chiara, M.-A. http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/pers/hd/c/Chiara:Maria_Luisa_Dalla.
- Davisson, C. J. The diffraction of electrons by a crystal of nickel. *Bell Systems Technical Journal*, 7(1):90–105, 1928.
- de Broglie, L. *Recherches sur la théorie des quanta*. Masson & Cie, 1924. la réédition du texte de la Thèse [1924], Fac. des Sciences de Paris. (La reproduction de l’Appendice 1 est prise de Annales de la Fondation Louis de Broglie, Vol. 17, No. 1, 1992.).
- *Une tentative d’interprétation causale et non-linéaire de la mécanique ondulatoire (la théorie de la double solution)*. Gauthier-Villars, 1956.
- *La théorie de la mesure en mécanique ondulatoire (interprétation usuelle et interprétation causale)*. Gauthier-Villars, 1957.
- de Chardin, P. T. *La place de l’homme dans la nature*. Albin Michel, 1956.
- Dirac, P. *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford University Press, 1958.
- Donnelat, M.-A. *Histoire du principe de relativité*. Flammarion, 1971.
- Einstein, A. In Schlipp, P. A., editor, *Albert Einstein, Philosopher and Scientist*. Library of Living Philosophers, 1949.
- The space and the time in pre-relativistic physics. In *The Meaning of Relativity*. Princeton University Press, 1955.
- , Podolski, B., and Rosen, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 47:777, 1935.
- Eisele, J. A. *Modern Quantum Mechanics...* Wiley, 1969.

- F. E. Schroeck, J. *Quantum Mechanics in Phase Space*. Kluwer Academic, 1996.
- Feynman, R. P. *Quantum Mechanics and Path Integrals*. McGraw-Hill, 1965.
- Gleason, A. Measures on the closed subspaces of a Hilbert space. *Journal of Mathematics and Mechanics*, 6:885–893, 1957.
- Gottfried, K. *Quantum Mechanics Vol. I: Fundamentals*. Benjamin, 1966.
- Gudder, S. A generalized measure and probability theory for the physical sciences. In *Foundations of Probability Theory, Statistical Inference and Statistical Theories of Science*, volume 6c of *The University of Western Ontario Series in Philosophy of Science*, pages 121–141. Reidel, Dordrecht, 1976.
- Haroche, S. and Raimond, J.-M. *Exploring the Quantum: Atoms, Cavities and photons*. Oxford University Press, 2006.
- Haven, E. and Khrennikov, A. *Quantum Social Science*. Cambridge University Press, 2013.
- Holland, P. *The Quantum Theory of Motion*. Cambridge University Press, 1993.
- Computing the wavefunction from trajectories: particle and wave pictures in quantum mechanics and their relation. *Annals of Physics*, 315(2):505–531, 2005.
- Quantum field dynamics from trajectories. In Chattaraj, P., editor, *Quantum Trajectories*. Taylor & Francis/CRC, Boca Raton, 2010.
- Holland, P. and Philippidis, C. Implications of lorentz covariance for the guidance formula in two-slit quantum interference. *Physical Review A*, 67(062105), 2003.
- Jung, C. G. and Jaffé, A. *Memories, Dreams, Reflections*. New York: Random House, 1965.
- Kocsis, S., Braverman, B., Ravets, S., Stevens, M. J., Mirin, R. P., Shalm, L. K., and Steinberg, A. M. Observing the average trajectories of single photons in a two-slit interferometer. *Science*, 332(6034):1170–1173, 2011.
- Kolmogorov, A. Grundbegriffe der wahrshcheinlichkeitrechnung. In *Ergebnisse der Mathematik*. 1933.
- *Foundations of Probability*. Chelsea Publishing Company, New York, 1950.
- Laloë, F. Do we really understand quantum mechanics? strange correlations, paradoxes, theorems. *American Journal of Physics*, 69(655), 2001.
- Landau, L. D. and Lifshitz, E. M. *Quantum Mechanics*. . . . Pergamon Press, 1959.
- Longo, G. Laplace, Turing et la géométrie impossible du “jeu d’imitation”. *Intellectica*, 2 (35):131–162, 2002.
- Mackey, G. W. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Benjamin, 1963.
- Mugur-Schächter, M. (MMS) Sur la possibilité de tracher expérimentalement le problème du caractère “complet” de la mécanique quantique. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, T256:5513–5517, Groupe 4, 1963.

- *Etude du caractère complet de la mécanique quantique*. Gauthier-Villars, 1964.
- Mise en doute du postulat quantique des valeurs propres. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, T266:585–588, série B, 1968a.
- La théorie des deux types de mesures et démonstration de la possibilité de vérification de la théorie de la double solution. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, T266: 1053–1056, série B, 1968b.
- The quantum mechanical one-system formalism, joint probabilities and locality. In Lopes, J. L. and Paty, M., editors, *Quantum Mechanics a half Century Later*. Reidel, 1977.
- Study of Wigner's theorem on joint probabilities. *Foundations of Physics*, 9(5/6): 389–404, 1979.
- Esquisse d'une représentation générale et formalisée des descriptions et le statut descriptif de la mécanique quantique. *Epistemological Letters*, 36, 1984.
- What is the problem in the locality problem? *Foundations of Physics*, 18(4):464–470, 1988.
- Quantum mechanics and relativity: Attempt at a new start. *Foundations of Physics Letters*, 2(3):261–286, 1989.
- Spacetime quantum probabilities i: Relativized descriptions and Popperian propensities. *Foundations of Physics*, 21(12):1387–1449, 1991.
- Spacetime quantum probabilities ii: Relativized descriptions and Popperian propensities. *Foundations of Physics*, 22(2):235–312, 1992a.
- Quantum probabilities, operators of state preparation, and the principle of superposition. *International Journal of Theoretical Physics*, 31(9):1715–1751, 1992b.
- Towards a factually induced space-time quantum logic? *Foundations of Physics*, 22 (7):963–994, 1992c.
- $p = h/\lambda$? $w = hv$? A riddle prior to any attempt at grand unification. In *Waves and Particles in Light and Matter*, pages 541–569, 1994.
- Une méthode de conceptualisation relativisée... *Revue Internationale de Systémique*, 9, 1995.
- Objectivity and descriptonal relativities. *Foundations of Science*, 7(1/2):73–180, 2002a.
- From quantum mechanics to a method of relativized conceptualization. In Mugur-Schächter, M. and van der Merwe, A., editors, *Quantum Mechanics, Mathematics, Cognition and Action*. Kluwer Academic, 2002b.
- En marge de l'article de Giuseppe Longo sur Laplace, Turing et la géométrie impossible du "jeu d'imitation". *Intellectica*, 2, 2002c.
- *Sur le tissage des connaissances*. Hermès-Lavoisier, 2006.

- A fundamental problem in probabilities, and solution. arXiv:0901.2301, 2009.
- L’infra-mécanique quantique. arXiv:0903.4976v2, 2011.
- On the concept of probability. *Mathematical Structures in Computer Science*, 24(3): e240309, 2014.
- Ney, A. and Albert, D. Z. *The wave Function*. Oxford University Press, 2013.
- Orwell, G. *Animal Farm (trad. française: La ferme des animaux)*. Harcourt Brace & Company (anglais); Champ Libre (français), 1945.
- Park, J. L. and Margenau, H. Simultaneous measurability in quantum theory. *International Journal of Theoretical Physics*, 1:211–283, 1968.
- Peres, A. *Quantum Theory, Concepts and Methods*. Kluwer Academic, 1995.
- Petitot, J. Objectivité faible et philosophie transcendantale. In Bitbol, M. and Laugier, S., editors, *Physique et réalité (un débat avec B. d’Espagnat)*. Editions Frontières (Diderot), 1997.
- Piron, C. *Mécanique quantique: bases et applications*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 1990.
- Pitowsky, I. Quantum mechanics as a theory of probability. *The Western Ontario Series in Philosophy of Science*, 72:213–240, 2006.
- Poincaré, H. On the foundations of geometry. In *The Monist*, V. 9. 1898.
- *Science et hypothèse*. Flammarion, 1902.
- Popper, K. *L’univers irrésolu, plaidoyer pour l’indéterminisme*. Hermann, 1984.
- Preskill, J. *Quantum Information and Computation*. Springer, 1998.
- Raichmann, D. *Mémoire DEA*. Philosophie des Sciences, La Sorbonne, 2003.
- Salart, D., Baas, A., Branciard, C., Gisin, N., and Zbinden, H. Testing the speed of ‘spooky action at a distance’. *Nature*, 454:861–864, 2008.
- Schlosshauer, M. Decoherence, the measurement problem, and interpretations of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 76:1267, 2005.
- Suppes, P. The probabilistic argument for a non-classical logic of quantum mechanics. *Journal of Philosophy of Science*, 33:14–21, 1966.
- Svozil, K. How much contextuality? *Natural Computing*, 11:261–265, 2012.
- Unscrambling the quantum omelette. *International Journal of Theoretical Physics*, 53 (10):3648–3657, 2014.
- and Tkadlec, J. Greechie diagrams, nonexistence of measures in quantum logics and Kochen-Specker type constructions. *Journal of Mathematical Physics*, 37:5380–5401, 1996.

von Neumann, J. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press, 1955.

Weihs, G., Jennewein, T., Simon, C., Weinfurter, H., and Zeilinger, A. Violation of Bell's inequality under strict Einstein locality condition. *Physical Review Letters*, 81(5039), 1998.

Wigner, E. P. The problem of measurement. *American Journal of Physics*, 31(6), 1963.