Réponse aux arguments
de TQC et d'instabilité habituellement
opposés aux énergies négatives
et à l'antigravitation

En premier lieu, n'est il pas reconnu que le traitement standard de PT en Théorie Quantique des Champs, correspond à une option mathématique bien particulière pour l'opérateur T que l'on choisit Anti-Unitaire justement pour éviter l'inversion de l'énergie notamment ? Du coup, explorer des théories où l'inversion du temps s'accompagne de l'inversion de l'énergie ne reviendrait il pas seulement à avoir implicitement adopté l'autre alternative (T Unitaire : non standard mais à priori tout à fait licite) d'un choix mathématique binaire qui se présente en TQC (cf Weinberg, Théorie Quantique des Champs vol 1 page 75) :

$$T\, iHT^{-1} = -iH$$

If we supposed that T is linear and unitary then we could simply cancel the is, and find $THT^{-1} = -H$, with the again disastrous conclusion that for any state Ψ of energy E there is another state $T^{-1}\Psi$ of energy $-E$. To avoid this, we are forced here to conclude that T *is antilinear and antiunitary*.

Alors quelle reproche faire à cela ? Certes la raison principale pour laquelle l'alternative T Unitaire a été écartée en TQC standard, est effectivement les problèmes de stabilité que posent les états d'énergie négative inévitablement produits par l'action de ce T, mais avant d'aborder ce sujet, je voudrais préciser les principales raisons théoriques pour lesquelles j'estime que le choix T Unitaire devrait être considéré plus sérieusement et même privilégié... cf mon article http://arxiv.org/abs/gr-qc/0404110 pour plus de détails.

A) En Relat Restreinte déjà $E^2 = p^2 + m^2$ admettait deux solutions possibles, l'une d'énergie positive et l'autre d'énergie négative. L'image de Dirac selon laquelle les énergies négatives rempliraient un océan infini d'états, de telle sorte que seuls les trous à la surface de cette mer d'énergie négative se propageant donc avec une énergie positive et une charge inverse seraient observables (les antiparticules), a été abandonnée (cf Weinberg, Théorie Quantique des Champs vol 1 pages 11,12,13) car ne fonctionnerait que pour les fermions. La question donc demeurait: où sont passés les états d'énergie négative ?
C'est effectivement la seconde quantification des champs, qui a paru résoudre le problème. En effet, désormais les objets fondamentaux solutions des équations de champs ne sont plus des particules possédant une certaine énergie mais représentent l'opération qui consiste à créer ou annihiler des particules en agissant par exemple sur le vide. L'ex solution d'énergie positive +E (resp. négative -E) doit désormais augmenter de E (resp. diminuer de E) l'énergie d'un état préalablement donné. Mais augmenter (resp. diminuer) l'énergie d'un état pourrait à priori se faire de deux façons:

1) En y créant (resp. annihilant) une particule d'énergie positive

2) En y annihilant (resp. créant) une particule d'énergie négative

L'adoption de 2) reviendrait à admettre l'existence de véritables particules d'énergie négative. On adopte donc les solutions de type 1) en Théorie Quantique des Champs et on exclue d'autorité celles de type 2). Bien qu'il semble que l'on ait ainsi définitivement résolu le problème des énergies négatives (on pourrait croire que l'ex solution d'énergie négative soit désormais l'annihilateur d'une particule d'énergie positive), n'est il pas en fait tout aussi injustifié de négliger le choix physique 2) qu'il l'était de négliger les solutions d'énergie négative avant la seconde quantification !? La question donc me paraît demeurer entière: où sont passés les états d'énergie négative ?

Une remarque s'impose également : parler d'énergie positive ou négative pour une solution réelle à l'équation de Klein-Gordon telle que l'onde plane $\mathrm{Cos}(\pm Et/\hbar - \mathbf{p}\,\mathbf{r}/\hbar)$ ne pose pas de problème d'interprétation puisque le $\pm E$ ici se réfère sans ambiguité aux deux solutions possibles de $E^2 = p^2 + m^2$. Par contre la signification physique de termes d'onde plane complexe tels que $e^{\pm i(\pm Et/\hbar - \mathbf{p}\,\mathbf{r}/\hbar)}$ qui sont également solutions de l'équation de KG que l'on pourrait faire apparaître par simple remplacement de Cos(x) par $(e^{ix}+e^{-ix})/2$ dans les solutions réelles, pose question et parler en particulier de solutions à fréquences&énergies positives ou négatives associées à l'alternative $\pm i$ est certainement fort douteux puisque l'alternative $\pm E$ qui existait déjà pour la solution réelle à KG est à l'évidence celle qu'il faut associer à la notion d'énergie positive ou négative. Pas étonnant que l'alternative +-i au final ne s'interprête sans ambiguité que pour une solution à valeur opérateur (donc en seconde quantification) dans laquelle passer de $e^{i(Et/\hbar - \mathbf{p}\,\mathbf{r}/\hbar)}$ à $e^{-i(Et/\hbar - \mathbf{p}\,\mathbf{r}/\hbar)}$ n'a rien à voir avec l'inversion de l'énergie, ni l'inversion du temps (confusion ultra répandue) , mais seulement avec la conjugaison complexe et pour un champ réel, la transformation de chaque opérateur de création associé à une onde plane exponentielle complexe en son adjoint : l'opérateur d'annihilation associé à l'onde plane complexe conjuguée. Au final l'alternative $\pm E$ correspond donc bien à l'alternative 1) 2) (et une Action et Hamiltonien affectés également du signe $\pm$, Action à maximiser ou minimiser selon le cas) et n'a rien à voir avec l'alternative $\pm i$!

B) L'opérateur Anti-Unitaire T transforme un coefficient tel que $e^{-iEt/\hbar}$ dans la phase d'une onde plane en $e^{--i(E(-t))/\hbar} = e^{-iE\,t/\hbar}$ grâce à la conjugaison complexe. Mais ne s'agit il pas là d'un artifice mathématique tout à fait ad hoc juste pour éviter l'inversion de l'énergie ? Avec ce choix, tout à fait exceptionnel (tous les opérateurs associés aux symétries importantes de la physique sont unitaires à ma connaissance) et singulier nous n'avons plus à notre disposition d'opérateur pouvant relier les états d'énergie positive à ceux d'énergie négative bien que ces derniers n'aient pu être en réalité exclus ou réinterprétés de façon convaincante par la seconde quantification selon moi comme mentionné plus haut. Dans ce contexte même la pertinence du théorème $CPT_{AntiUnitaire}$ pourrait être questionnée si ce T Anti-Unitaire est en quelque sorte un imposteur (quasi redondant avec CP) qui n'a rien à voir avec l'inversion du temps.(?)

C'est pourquoi il m'a semblé que la motivation était plus que suffisante et qu'on ne devrait pas ménager ses efforts dans l'exploration de la voie ouverte par T unitaire et les énergies négatives ne serait ce que pour ne pas risquer d'avoir manqué une bifurcation cruciale et de le payer plus tard. Je trouve qu'il serait plus juste lorsque on analyse de façon critique les résultats de travaux dans une voie orthogonale au courant principal de ne pas perdre de vue que les difficultés à surmonter qui peuvent s'avérer considérables ne sont abordées que par une poignée de chercheurs isolés, et d'en tenir compte pour saluer les progrès accomplis même s'ils ne sont que partiels : i.e. relever les succès phénoménologiques même s'ils ne concernent que certains observables (travaux de JP Petit) et également ne pas passer sous silence que la plupart des instabilités dans les modèles « gémellaires » sont trivialement évitées pour toutes les interactions non gravitationnelles même si il est moins évident de se prononcer à propos des instabilités qui pourraient se manifester dans le secteur gravitationnel.

En effet, comme cela a été bien compris par Linde, un Univers peuplé d'objets/champs tous d'énergies négatives (fermions et bosons) serait tout à fait impossible à distinguer d'un univers d'objets/champs d'énergies positives. Tout y serait également stable si bien que le signe des énergies n'est que pure convention ce qui avait été également reconnu par Linde. Ce n'est que si on autorise les deux catégories d'objets à interagir que des problèmes de stabilité se posent et qu'une nouvelle phénoménologie émerge. Si cette connexion ne se fait que par la gravité les problèmes éventuels de stabilité sont isolés dans le secteur gravitationnel exclusivement ce qui est le cas dans le modèle phénoménologique de JP Petit. Les travaux théoriques de S Hossenfelder qui retrouve des équations de champs similaires à celles de JP Petit (publié dans Phys Rev http://arxiv.org/pdf/0807.2838.pdf) et F. Henry-Couannier (publié dans GJSFR http://arxiv.org/pdf/gr-qc/0610079v61.pdf) prétendent même par des voies indépendantes pouvoir éviter tous les problèmes d'instabilité. J'expliquerai un peu plus loin le principe de la solution dans mon cadre.

En ce qui concerne le tenseur énergie impulsion, je suis parvenu à la conclusion (http://arxiv.org/abs/gr-qc/0404110) que le comportement sous P ou

T ne peut être compris dans un cadre non gravitationnel : en effet, en RG ce qui est à la source, c'est la densité spatiale d'énergie-impulsion sqrt(g)$T^{\mu\nu}$, et le tenseur gravitationnel intervient aussi en général dans $T^{\mu\nu}$, de sorte qu'on ne peut comprendre l'effet des symétries discrètes d'espace temps sans comprendre comment $g_{\mu\nu}$ lui même se transforme sous P ou T. Effectivement, mes équations de champs se déduisent d'un traitement également non standard de T qui n'est pas comprise comme un simple difféomorphisme : typiquement T va transformer $g_{\mu\nu}$ en son tenseur jumeau $\bar{g}_{\mu\nu}$ (« tenseur inverse » en première approximation) qui ne décrit pas la même géométrie !

En effet, lorsque on inverse le temps en RG se pose inévitablement la question : quel temps ? l'inversion du temps si on tient à la comprendre même dans un cadre incluant la gravité comme une symétrie globale et non pas seulement locale nécessite donc un système de coordonnées privilégié x^μ dans lequel on a simplement x^μ : x,y,z,t ==> x^μ_T : x,y,z,-t. Dans ce système, se pose la question de savoir comment se transforment les coordonnées inertielles $\xi^\alpha(x^\mu)$ qui n'ont aucune raison à priori d'être invariantes : i.e on n'a pas à priori $\xi^\alpha_T(x^\mu_T)=\xi^\alpha(x^\mu)$ contrairement à ce qu'on aurait si on considérait l'inversion comme une simple re-parametrisation (difféomorphisme). La symétrie T ainsi comprise devrait donc générer un deuxième système de coordonnées inertielles : $\bar{\xi}^\alpha(x^\mu) \equiv \xi^\alpha_T(x^\mu_T)$ ce qui signifie en clair qu'il y a deux tenseurs différents $g_{\mu\nu}$ et $\bar{g}_{\mu\nu}$ que l'on peut construire à la façon habituelle respectivement à partir de $\xi^\alpha(x^\mu)$ et $\bar{\xi}^\alpha(x^\mu)$. Donc le T ainsi compris ne laisse pas invariantes les actions de la RG (contrairement aux difféomorphismes) et nécessite de compléter ces actions pour restaurer l'invariance de l'action totale sous cette symétrie dont le caractère discret et vraiment physique (contrairement à une simple re-paramétrisation) demeure ainsi préservé. On obtiendra typiquement après résolution des équations des solutions telles que $\bar{\xi}^\alpha(x^\mu) = \xi^\alpha(x^\mu_{T,\,P\,ou\,PT})$ donc $\bar{g}_{\mu\nu}(x^\mu) = g_{\mu\nu}(x^\mu_{T,\,P\,ou\,PT})$.

En fait dans mon cadre comme dans celui de S Hossenfelder, $g_{\mu\nu}$ et $\bar{g}_{\mu\nu}$ ne sont pas des champs indépendants. Par exemple j'ai (1) $\bar{g}_{\mu\nu} = \eta_{\mu\rho}\eta_{\nu\lambda}g^{\rho\lambda}$ ou η est une métrique de fond plate et non dynamique qui prend la forme (+1,-1,-1,-1) dans le système privilégié (Hossenfelder utilise une définition similaire avec un champ auxiliaire dynamique pour ne pas avoir à considérer de système privilégié : Eq 46 http://arxiv.org/pdf/0807.2838.pdf). L'idée de base pour éviter l'essentiel des instabilité est que $g_{\mu\nu}$ et $\bar{g}_{\mu\nu}$ ne sont que les deux faces liées par (1) d'une même entité que l'on pourrait nommer champ Janus ($g_{\mu\nu}$; $\bar{g}_{\mu\nu}$) qui a le bon goût de ne présenter que sa « face d'énergie positive $g_{\mu\nu}$ » aux particules d'énergie positive qui suivent les géodésiques de $g_{\mu\nu}$ (il suffit d'éliminer $\bar{g}_{\mu\nu}$ des équations de champs en utilisant la relation (1) pour le vérifier) et sa face d'énergie négative $\bar{g}_{\mu\nu}$ aux particules d'énergie négative qui suivent les géodésiques de $\bar{g}_{\mu\nu}$ (il suffit d'éliminer $g_{\mu\nu}$ des équations de champs pour le vérifier) de sorte qu'il n'y aurait jamais de couplage entre un objet d'énergie positive et un objet d'énergie négative ce qui est la clef de la résolution du problème des instabilités...

Au final, toutes les particules qui suivent les géodésiques de $g_{\mu\nu}$ peuvent interagir entre elles et avec les éventuels quanta du champ $g_{\mu\nu}$ sans instabilités car tous ont une énergie de même signe.
De même, toutes les particules qui suivent les géodésiques de $\bar{g}_{\mu\nu}$ peuvent interagir entre elles et avec les éventuels quanta du champ $\bar{g}_{\mu\nu}$ sans instabilités car tous ont une énergie de même signe. La phénoménologie est rigoureusement la même (celle d'un modèle standard de la physique des particules) sur le versant $g_{\mu\nu}$ et sur le versant $\bar{g}_{\mu\nu}$.
Ce qui est réellement nouveau c'est que du point de vue d'une particule qui suit les géodésiques de $g_{\mu\nu}$, une particule qui suit les géodésiques de $\bar{g}_{\mu\nu}$ est « perçue via ses effets anti-gravitationnels» comme ayant une énergie et masse de signe opposé ce qui confirme la pertinence de la relation (1) qui d'ailleurs est quasi inévitable en présence du fond non dynamique η (http://arxiv.org/pdf/gr-qc/0610079v61.pdf), mais comme ces particules ne se couplent pas directement, il n'y a à nouveau pas d'instabilité possible.

Reste à considérer des éventuelles instabilités dans le secteur gravitationnel. Dans mon cadre, la théorie se scinde en deux secteurs aux équations de champs extrêmement simplifiées par rapport à celles de la RG: l'un dont les équations peuvent être complètement linéarisées par changement de variable dans les éléments de métrique ($A(r)=e^{a(r)}$ ==> Δ a = 0 dans le vide). Dans l'autre secteur les équations sont également linéarisables par changement de variable aussi bien en champs forts qu'en champs faibles ($A(r,t)=a^2(r,t)$==> $a^2\Box a - (1/a^2)\Box(1/a) = 0$ dans le vide ==>$\Box a = 0$ pour a >> 1 et $\Box(1/a) = 0$ pour a << 1). Notons que les instabilités linéaires du type de celles envisagées en http://arxiv.org/pdf/gr-qc/0604021v2.pdf sont exclues puisque pour une masse dans g (resp $\bar{g}$), celle-ci est positive du point de vue de g (resp $\bar{g}$) et il est bien connu qu'il n'y a pas d'instabilité dans les équations linéarisées donnant la solution de schwarzschild produite par une telle masse. Ensuite $\bar{g}$ (resp g) peut se déduire de g (resp $\bar{g}$) via (1). L'argument de stabilité de la solution de Schwarzschild d'une masse négative était le même dans http://arxiv.org/pdf/0807.2838.pdf

Je voudrais également insister sur le fait que dans ces théories la stabilité semblerait aussi pouvoir s'apprécier sur un plan plus phénoménologique puisque les particules se repoussent Anti Gravitationnellement lorsqu'elles sont sur deux versants différents du champ Janus et s'attirent lorsqu'elles sont sur le même versant alors que dans un cadre de TQC standard des comportements pathologiques de poursuite ad infinitum devraient être constatés en présence d'énergies négatives.

Frédéric Henry-Couannier

Addendum technique: Anti-particules et Causalité

Le time ordering en Théorie Quantique des Champs consiste juste en une réécriture (sans réel contenu physique rajouté donc) astucieuse de la matrice S en théorie des perturbations qui permettra ensuite de comprendre quelle condition est nécessaire pour assurer son invariance de Lorentz, en l'exprimant sous la forme d'une série de termes (série de Dyson) chacun étant « ordonné » dans le temps (formule 3.5.10 du Weinberg) . Du coup il saute aux yeux qu'une condition est que les Hamiltoniens pris en deux événements séparés par un intervalle du genre espace doivent commuter (1). Cette condition et d'autres pour l'invariance de Lorentz de la Matrice S sont rappelées au début du chapitre 5. Weinberg démontre alors que les opérateurs Hamiltoniens doivent être construits à partir de champs de création et d'annihilation Psi+ et Psi- (formules 5.1.17 et 5.1.18) intégrant des coefficients qui se transforment de façon bien précise sous Lorentz.
Plus précisément il faut utiliser une combinaison linéaire de champs créateurs et annihilateurs (des créateurs seulement ne permettraient pas d'avoir l'hermiticité) pour construire un champ total et pour un champ chargé, les annihilateurs ne peuvent pas annihiler une particule de même charge que les créateurs mais nécessairement une particule de charge inverse sinon la charge du champ total serait mal définie (comme expliqué page 199). A ce stade on n'a pas encore démontré que ces particules de charge inverse doivent être ce que nous appelons antiparticules car il faut établir qu'elles ont la même masse que les particules, mais il est déjà certain que pour chaque type de particule il faut une particule de charge inverse. La condition (1) permet d'achever la démonstration et de préciser exactement par quelle combinaison linéaire doit être construit le champ total et de démontrer la connexion spin statistique. Par exemple pour un champ scalaire (sans spin), (1) ne peut être satisfaite que pour un boson (i.e satisfaisant des relation de commutation), page 204.

Mais ce qui est le plus important dans tout ca c'est qu'a aucun stade il n' a fallu faire appel à la notion de causalité pour démontrer l'existence des anti-particules. La condition (1), et Weinberg insiste la dessus, que l'on a pris l'habitude d'appeler condition de causalité n'en est pas une (voir au bas de la page 198!) , je cite : "The point of view taken here is that (1) is needed for the Lorentz invariance of the S matrix, without any ancillary assumptions about measurability or causality"
Insistons: on n'a pas besoin de faire appel à une quelconque notion de causalité pour montrer l'existence des anti-particules : l'invariance de Lorentz

seule suffit ! Heureusement car on voit mal ce que la causalité qui n'est pas un principe de symétrie pourrait bien faire ici dans une démarche axiomatique sérieuse visant à fonder solidement la TQC relativiste, de même qu'elle n'avait rien à faire parmi les axiomes de la Relat Restreinte comme j'argumentais sur FS: http://forums.futura-sciences.com/physique/601795-postulats-de-relativite-restreinte.html#post4507060

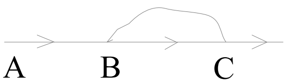
La causalité ne serait en définitive indispensable nulle part pour dériver les cadres admis. On ne ferait appel à elle que comme condition au caractère complètement ad hoc pour interdire toute construction théorique alternative susceptible de produire des boucles temporelles à propos desquelles tout le monde pense qu'elles sont ingérables et mènent irrémédiablement à des situations paradoxales alors qu'il existe de multiples voies envisageables pour résoudre ces « paradoxes »:

- la non localité quantique pourtant bien confirmée expérimentalement, ne peut en pratique être exploitée jusqu'à preuve du contraire pour des véritables transmissions d'informations sur des intervalles du genre espace, donc ne soulève aucun paradoxe.
- la réalisation en pratique des boucles temporelles pourrait bien être une totale impossibilité même si elles sont envisageables en principe, du coup personne ne serait en mesure de connaître le futur et ne pourrait être tenté de le modifier.
- Des boucles temporelles pourraient produire des bifurcations et des futurs parallèles (scénario suggéré par la MQ elle même avec ses superpositions d'histoires parallèles, interprétation de la MQ à la Everett qui n'est pas loin de devenir la favorite des experts en Optique quantique) évitant tout paradoxe
- Si je sais à l'avance tout ce que je vais faire demain, c'est que la connaissance que j'ai de ce futur ne m'autorise pas à le modifier. Il s'agit là d'un problème peut être plus métaphysique (ma liberté est elle illusoire ? Ma conscience joue t'elle un rôle dans ce problème ?) que de physique proprement dite...

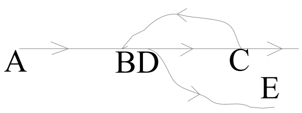
...

Nous pouvons ré-envisager le problème dans le cadre de deux métaphysiques bien connues

1. Le matérialisme réductionniste et déterministe classique (donc n'intégrant pas l'indéterminisme de la MQ), ou peut être déterministe 'en moyenne' pour un système suffisamment macroscopique (si on tient à intégrer les acquis de la MQ) : le déterminisme est absolu signifiant que la donnée des conditions initiales avec une précision infinie (qu'importe qu'aucun système artificiel puisse mémoriser cette information puisque le système physique considéré lui même constitue une réalisation concrète de ces conditions initiales à un instant donné) détermine totalement l'évolution ultérieure du système : le futur est entièrement écrit, et l'évolution du système physique particulier que constitue le cerveau humain, qui se traduit par notre comportement et nos choix (donc complètement déterminés) ne ferait pas exception. Dans ce cadre, la conscience est un épiphénomène, et le libre arbitre est parfaitement illusoire.
Dans ce cadre, la possibilité de transmissions d'information rétrochrones ne peut à l'évidence produire aucune situation paradoxale. A un instant donné, si l'humanité a acquis la technologie permettant la transmission d'information rétrochrone (point B), l'état du système peut être considéré comme un ensemble de conditions initiales qui peuvent avoir été influencées à la fois par l'état antérieur du système (point A) et par des signaux en provenance du futur (point C : donc double causalité) … mais le tout était déjà complètement déterminé à l'avance par exemple dans l'état du système à un instant antérieur A où la technologie n'était pas encore maîtrisée qui permet des transmissions d'information rétrochrones



Supposons que je (le système complexe mais parfaitement déterministe qu'est mon cerveau) soit informé en B du détail des événements futurs entre B et C, y compris de sa propre mort. Si ces événements vont se produire c'est qu'ils sont déterminés par toutes les conditions initiales inscrites dans mon état en B, y compris par le fait que je sois informé de ce futur. Si ces événements vont se produire c'est donc qu'en particulier je ne m'y suis pas opposé efficacement entre B et C, l'idée même que je puisse m'y opposer avec succès étant d'ailleurs complètement irrationnelle dans le cadre déterministe absolu choisi pour aborder le problème. En fait l'idée même que je pourrais m'opposer avec succès à un futur déjà écrit suppose un facteur étranger de libre arbitre au cadre déterministe présupposé, capable de produire une bifurcation au delà de B, par exemple en D et une deuxième histoire parallèle pouvant aboutir en E et éviter C.



En effet, l'état du système à un instant donné par exemple en D, dans le cadre déterministe est absolument déterminé par l'état B et rien d'autre (en l'absence de nouvelles transmissions rétrochrones après celle ayant eu lieu en B) et il l'est de façon évidemment unique de même qu'il détermine de façon unique tous ces états ultérieurs : donc pas de place pour une double évolution (deuxième histoire parallèle) à partir de D sans postuler un facteur non déterministe. Il est donc tout à fait évident que des scientifiques ayant une vision matérialiste réductionniste déterministe ne peuvent faire appel à l'argument des soit disant paradoxes pour s'opposer aux théories autorisant des transmissions rétrochrones.

2. Aux antipodes est bien sur le cadre métaphysique dualiste ou spiritualiste dans lequel le facteur indéterministe ou encore de libre arbitre peut intervenir et s'ajouter aux conditions initiales définies par l'état matériel en chaque point de l'axe temporel, appelons le Psi, pour influencer le futur de façon non univoque (plusieurs choix sont effectués en parallèle à tout instant pour explorer de multiples histoires parallèles, ceci est probablement initié par une superposition quantique initiale d'un état microscopique relativement bien isolé de son environnement pour éviter une décohérence prématurée). Si Psi était totalement déterminé par l'état physique du système en D il ne pourrait évidemment pas influencer l'évolution du système autrement que de façon strictement univoque. Au contraire , le fait que Psi soit capable de produire une deuxième histoire parallèle prouve son caractère irréductiblement indéterministe. Dans ce cas le fait que les deux histoires parallèles n'interfèrent plus résout trivialement le soit disant paradoxe. Ce n'est qu'en Mécanique Quantique que les notions d'indéterminisme absolu et de superpositions d'histoires parallèles (interprétation des mondes multiples d' Everett) pour la première fois ont fait irruption en physique et se sont imposées tant bien que mal ou sont en voie de le faire. Il est donc tout à fait naturel de chercher du coté de la MQ, le facteur irréductiblement indéterministe de libre arbitre, spirituel que nous sommes bien inspirés d'appeler Psi : Ψ .

Dans les deux cas limites envisagés : les prétendus paradoxes couramment associés aux boucles temporelles sont des faux problèmes et par conséquent il y a fort à parier qu'ils le seraient encore dans toutes les conceptions métaphysiques intermédiaires...