

# Mécanique quantique et psychisme

par Giuliana GALLI CARMINATI <sup>1</sup> et François MARTIN <sup>2</sup>

*La version anglaise est en cours de publication dans:*

Physics of Particles and Nuclei

<http://www.maik.rssi.ru/cgi-bin/journal.pl?name=physpart>

Avril 2007

## *Résumé*

Dans cet article nous appliquons les derniers développements de la théorie de la mesure en mécanique quantique au phénomène de la conscience et en particulier à la prise de conscience des éléments de l'inconscient. Différents modèles de mesure en mécanique quantique se distinguent par le fait qu'il y a, ou qu'il n'y a pas, effondrement de la fonction d'onde. La conscience passive semble mieux s'accorder avec les modèles dans lesquels il n'y a pas effondrement de la fonction d'onde, tandis que dans le cas de la conscience active - c'est-à-dire accompagnée d'un acte ou d'un choix - il semble bien qu'il y ait effondrement de la fonction d'onde. Comme exemple de cette seconde possibilité nous étudions en détail l'expérience du choix retardé du photon et ses conséquences pour le temps subjectif ou psychologique. Nous appliquons ces considérations pour tenter d'expliquer les phénomènes de synchronicité. Comme modèle d'application de la prise de conscience des éléments de l'inconscient nous considérons le processus du deuil. Nous appliquons aussi le modèle quantique aux phénomènes de corrélation à distance entre psychismes, ainsi qu'aux corrélations groupales apparaissant lors des thérapies et des formations groupales. Le phénomène de l'intrication quantique conduit à la formation d'un inconscient groupal. Pour finir nous proposons de tester l'existence de telles corrélations lors de séances de formations groupales.

## 1 Introduction

Le problème de la mesure en physique quantique est un problème qui est toujours d'actualité. En 1932, von Neumann [1] a proposé de diviser l'évolution de la fonction d'onde en fonction du temps au cours d'une mesure en deux processus. Le premier processus est l'évolution unitaire et déterministe de cette fonction d'onde. Le second processus est l'effondrement de cette fonction d'onde sur un des états propres de l'observable considérée dans la mesure. Si le premier processus est continu et déterministe, le second est discontinu et non déterministe (probabiliste).

La théorie de la décohérence quantique [2] permet d'expliquer comment, par suite de l'interaction avec l'environnement, le système quantique constitué de l'objet observé et du

---

<sup>1</sup>Unité Psychiatrique de Développement Mental - Service de Psychiatrie Adulte, Département de Psychiatrie, Hôpitaux Universitaires de Genève, Suisse; email: Giuliana.GalliCarminati@hcuge.ch

<sup>2</sup>Laboratoire de Physique Théorique et Hautes Energies, Universités Paris 6 et 7, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France; e-mail: martin@lpthe.jussieu.fr

détecteur passe d'une superposition cohérente d'états à un mélange statistique d'états rapportés à une base donnée (matrice densité réduite).

Certaines théories (la théorie des univers parallèles d'Everett [3], la théorie de l'information quantique de Cerf et Adami [4]) essaient d'éviter le processus d'effondrement de la fonction d'onde.

Comment la conscience humaine intervient-elle dans le processus de mesure en physique quantique? Existe-t'il une théorie quantique de la conscience? Les travaux sur le rôle de la conscience dans le processus de mesure en physique quantique remontent à von Neumann [1] et à Wigner [5]. En particulier, pour von Neumann, le fait de placer la frontière entre système observé et système observant (grosso modo entre système quantique et système classique) entre le système observé et le système de détection donne les mêmes résultats expérimentaux que si nous plaçons cette frontière entre le système constitué par l'objet observé et le détecteur d'un côté et la conscience humaine d'un autre côté.

Suivant en cela von Neumann et Wigner, Stapp [6] a placé l'interface entre le système observé et le système observant dans le cerveau de l'observateur, ce qui lui permet d'expliquer certains comportements de la conscience du point de vue de la théorie quantique.

En 1967 Ricciardi et Umezawa [7] ont suggéré d'utiliser le formalisme de la théorie quantique du champ aux états du cerveau et en particulier aux états de mémoire.

En 2003 Baaquie et Martin [8] ont aussi proposé une théorie quantique du champ de la conscience, cette dernière s'appliquant plus à des états mentaux qu'à des états physiques du cerveau. Cette théorie considère des aspects duaux de l'esprit et de la matière. De telles théories considérées dans le cadre de la théorie quantique remontent à Jung et Pauli [9], [10], [11]<sup>3</sup>.

C'est dans le cadre de cet aspect dualiste de l'esprit et de la matière que se situe notre travail. L'observation de corrélations à distance entre différents psychismes, ainsi que l'observation de phénomènes de synchronicité, nous poussent à postuler une non-localisation des états mentaux inconscients. Ces derniers ne sont pas uniquement localisés dans le cerveau humain. Les états mentaux sont corrélés à des états physiques du cerveau mais ils ne sont pas réductibles à ces états physiques.

En ce qui concerne les phénomènes de synchronicité, c'est-à-dire les coïncidences significatives entre un état mental (subjectif) et un événement survenant dans le monde extérieur (objectif), ils confirment que la frontière entre le système constitué par l'objet observé et la conscience humaine n'existe pas vraiment. En cela nous allons plus loin que Stapp [6].

Dans cet article nous allons tenter de modéliser de façon quantique les corrélations à distance qui se manifestent entre plusieurs psychismes, par exemple entre deux personnes (e.g. Alice et Bob), ainsi que dans un groupe de personnes (corrélations groupales). Nous essaierons aussi de modéliser la prise de conscience d'éléments de l'inconscient à partir des théories actuelles sur la mesure en physique quantique. Nous verrons que le modèle de Cerf et Adami [4] dans lequel il n'y a pas d'effondrement de la fonction d'onde semble le mieux adapté au phénomène de la prise de conscience, lequel préserve l'état de l'inconscient.

Citons pour finir les travaux sur les théories quantique de la conscience liée à des états physiques du cerveau. En plus de ceux déjà cités de Ricciardi et Umezawa [7] il y a les travaux de Beck et Eccles [13], ceux de Penrose [14], et ceux dans lequel ce dernier a collaboré avec Hameroff [15].

Dans notre travail nous restreignons nos considérations à la conscience humaine, qui ne

---

<sup>3</sup>A ce sujet on lira avec intérêt la revue *Quantum Approaches to Consciousness* d'H. Atmanspacher dans l'Encyclopédie de Philosophie de Stanford [12]. Cette revue fait le point sur les théories quantiques actuelles de la conscience.

possède pas seulement la propriété “d’être consciente d’elle-même”, mais aussi celle d’être consciente de l’environnement qui l’entoure. D’autres travaux ont exploré le concept de conscience universelle ([14], [8]). Par conséquent, pour caractériser l’objet de notre travail, nous avons préféré utiliser le terme psyché (ou psychisme) plutôt que le terme conscience, plus général et qui peut être interprété comme la conscience universelle.

## 2 Choix du passé

Il peut être intéressant de considérer certains phénomènes psychiques (les corrélations à distance entre psychismes, les phénomènes de synchronicité) à la lumière de certains phénomènes observés en mécanique quantique et qui posent un problème avec la causalité «classique», comme le «paradoxe» d’Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) [16], les inégalités de Bell [17] et les expériences d’Alain Aspect [18], ou l’expérience du choix retardé du photon.

Considérons cette dernière expérience (figure 1). Un faisceau de photons est divisé en deux parties égales par un miroir semi-argenté. Deux réflecteurs totaux dévient ensuite chacun des deux faisceaux de telle manière qu’ils se croisent à nouveau en un même point. Deux détecteurs sont ensuite placés sur chacun des trajets des deux faisceaux, juste après le point de croisement. La moitié des photons est enregistrée dans un détecteur, tandis que l’autre moitié l’est dans l’autre. Pour chaque photon on détermine donc quel a été le chemin suivi. Au point de croisement des faisceaux on peut placer un deuxième miroir semi-argenté qui introduit un nouveau déphasage entre les différentes ondes partielles. Ces déphasages sont tels que tous les photons arrivent dans un des deux détecteurs et aucun dans l’autre. On peut choisir de placer, ou de ne pas placer, le deuxième miroir semi-argenté au point de croisement des faisceaux. On peut donc faire un choix sur le photon: soit il emprunte un des deux chemins lorsque le deuxième miroir semi-argenté n’est pas en place, soit il emprunte les deux chemins à la fois, de telle manière qu’il y ait un phénomène d’interférence, lorsque le deuxième miroir semi-argenté est en place. On peut faire ce choix au dernier moment, juste avant que le photon arrive au point de croisement, après qu’il ait quitté la source, qu’il ait atteint le premier miroir semi-argenté et qu’il ait été réfléchi par les miroirs totaux. On en conclut que l’on a une influence sur le passé du photon. On est capable de choisir le passé du photon après que ce passé se soit écoulé.

Cette expérience, imaginée par John Archibald Wheeler [19], a été vérifiée en laboratoire [20]. Selon John Archibald Wheeler cette expérience peut être réalisée avec un faisceau de photons qui a traversé une galaxie et qui a ainsi été dévié de plusieurs manières différentes par la galaxie. Les photons ont quitté leur source il y a des millions, voire des milliards d’années. L’expérience du choix retardé, le choix du passé du photon, se fait dans ce cas sur des millions, des milliards d’années, et pas simplement sur des milliardièmes de seconde, comme dans les laboratoires.

L’interprétation quantique de l’expérience du choix retardé est que l’on ne peut rien dire sur le photon en tant que particule entre le moment où il a été émis par la source et le moment où il a été détecté, car au dernier moment on peut faire le choix que l’on veut. Comme le dit Niels Bohr: “Aucun phénomène quantique n’est un phénomène tant qu’il n’a pas été enregistré, enregistré de manière indélébile, par un acte irréversible d’amplification”. Ce qui se passe entre le moment où le photon quitte la source et le moment où il est détecté n’a aucune localisation dans l’espace-temps tel que nous le concevons habituellement. L’expérience du choix retardé nous amène à repenser la notion de passé. Il y a une indétermination dans le passé du photon.

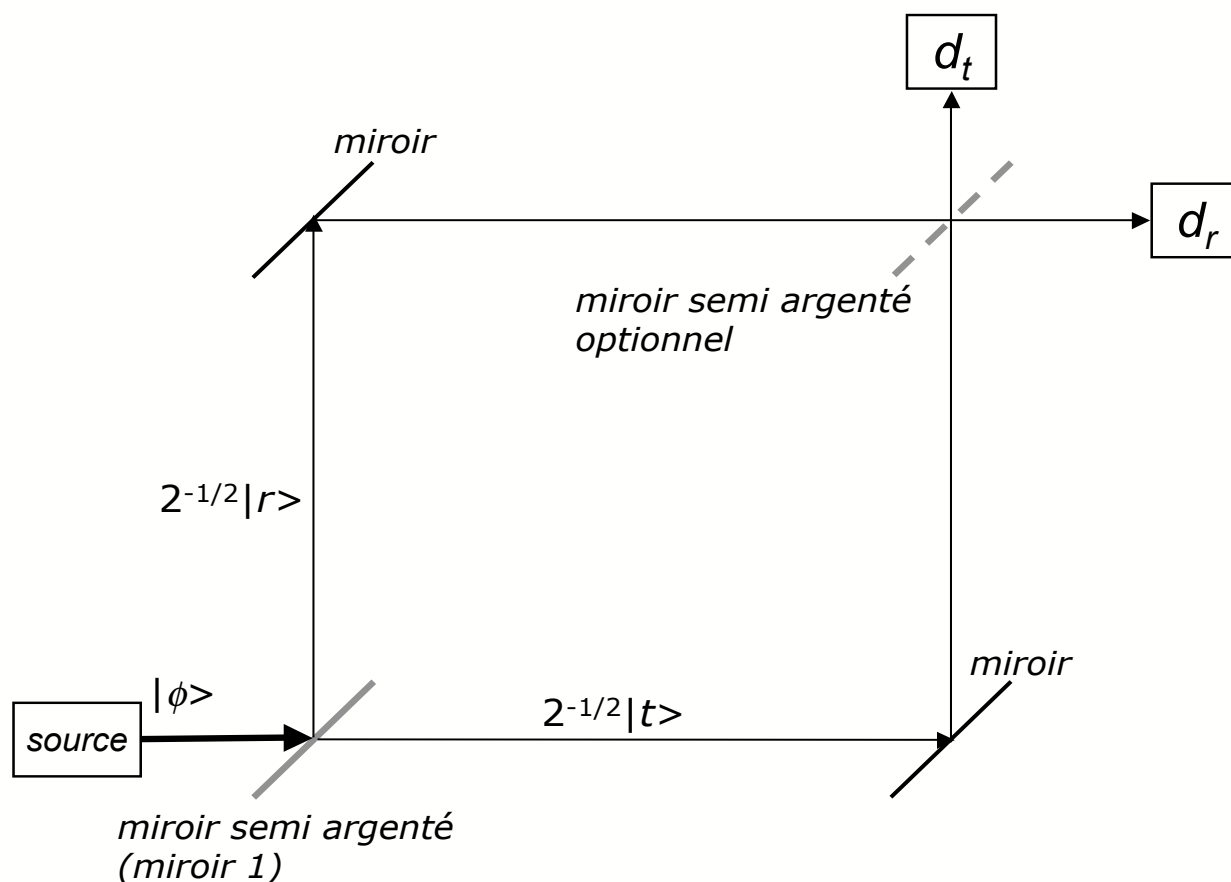


Figure 1: L'expérience du choix retardé du photon

Cette indétermination vient de la dualité onde-corpuscule <sup>4</sup>. Tout n'est pas déterminé dans le passé du photon. Le choix retardé permet de lever cette indétermination, et cela bien que nous agissions sur des choses qui sont déjà arrivées. John Archibald Wheeler insiste sur le fait que "le passé n'existe qu'à partir du moment où il a été enregistré dans le présent".

Dans le passé perdure une superposition d'états quantiques. Tant qu'une mesure n'a pas été faite, tant qu'un choix n'a pas été fait, cette superposition cohérente d'états continue à exister en tant qu'indétermination du passé.

La Mécanique Quantique nous enseigne qu'il existe deux plans de réalité. Il y a tout d'abord un plan de réalité quantique dans lequel existent des superpositions d'états quantiques évoluant de manière déterministe. Par exemple, dans l'expérience précédente, la fonction d'onde du photon évolue de manière déterministe, cette évolution étant donnée par un opérateur unitaire.

Le second plan de réalité est ce que nous appelons le plan de la réalité classique. C'est celui de la réalité unique que nous observons avec notre conscience. C'est aussi celui qui, en physique, est donné par le résultat d'une mesure. Le passage de la réalité quantique à la réalité classique se fait par l'intermédiaire d'une opération que l'on appelle "la réduction du paquet d'onde" (ou "effondrement de la fonction d'onde"). Ce passage se fait de manière irréversible et non déterministe (probabiliste). Dans l'expérience du choix retardé du photon la fonction

<sup>4</sup>Le photon est, en lui-même, ni une onde ni une particule; c'est la plus petite excitation possible, en termes d'énergie, du champ électromagnétique.

d'onde du photon évolue de manière déterministe jusqu'aux deux détecteurs placés sur chacun des deux trajets du photon. La réduction du paquet d'onde du photon s'effectue dans les deux détecteurs. Elle est probabiliste donc non déterministe.

Lorsqu'au point de croisement des deux faisceaux nous décidons de placer ou de ne pas placer le deuxième miroir semi-argenté le passé du photon en tant qu'état quantique est complètement déterminé. Par contre, en tant que système classique et particulièrement dans son aspect corpusculaire l'état du photon n'est pas totalement déterminé. Le fait de placer ou de ne pas placer le deuxième miroir semi-argenté ne va pas modifier son aspect quantique avant que le photon ne parvienne à ce miroir. Par contre cela va modifier la vision "classique" que nous aurons de ce photon. Lorsque le miroir ne sera pas installé le photon aura suivi l'un des deux trajets lorsqu'il sera enregistré par l'un des deux détecteurs. Lorsque le miroir sera installé le photon aura suivi les deux trajets lorsqu'il sera enregistré.

Le fait de placer ou de ne pas placer le deuxième miroir semi-argenté n'influe pas sur le passé du photon en tant que système quantique avant que le photon n'atteigne ce miroir. Ce passé s'est écoulé et en tant que système quantique le photon a évolué de manière déterministe. Par contre, par le choix que nous faisons sur le deuxième miroir semi-argenté nous influons sur le passé du photon en tant que système "classique" avant qu'il ait atteint ce miroir. C'est sur la vision "classique" du photon que nous influons. Lorsque le deuxième miroir semi-argenté n'est pas installé le photon en tant que particule détectée sera passé par l'un ou l'autre des deux chemins. Lorsque ce deuxième miroir est installé nous sommes conduits à dire que le photon détecté s'est comporté comme une onde et que par là-même il aura suivi les deux chemins. C'est sur la "reconstitution" classique du passé du photon que nous influons. Le passé quantique du photon, lui, est complètement déterminé et par conséquent non modifiable. Par contre, nous pouvons faire des choix dans la reconstitution du passé "classique" du photon. Comme il est écrit plus haut, ce qui se passe entre le moment où le photon quitte la source et le moment où il est détecté n'a aucune localisation dans l'espace-temps tel que nous le concevons habituellement, d'où l'ambiguïté de toute reconstitution "classique". En réalité toute reconstitution "classique" est une illusion car si nous pensons l'expérience du choix retardé du photon en temps quantique, le photon suit les deux chemins même dans le cas où nous n'avons placé le deuxième miroir semi-argenté. Dans ce dernier cas nous avons **l'illusion classique** que le photon a suivi un des deux chemins. Dans la réalité quantique il a suivi les deux.

Dans notre conscience le passé apparaît comme une succession d'événements qui ont eu lieu et qui ne sont pas modifiables. Mais il s'agit d'une restriction de notre conscience, confinée dans un temps linéaire. Un événement qui parvient à notre conscience est comme un photon qui est enregistré par un détecteur. Dans le cas de l'expérience du choix retardé pour le photon, si on ne place pas le deuxième miroir semi-argenté au point de croisement des deux faisceaux, la probabilité pour que le photon arrive dans l'un des deux détecteurs est de 50 pour cent pour l'un et 50 pour cent pour l'autre. C'est une prédiction de la mécanique quantique, une prédiction probabiliste. Par contre, si on place le deuxième miroir semi-argenté, la probabilité devient 100 pour cent pour l'un des deux détecteurs et zéro pour l'autre. L'acte de placer le deuxième miroir semi-argenté modifie les probabilités. Dans le cas considéré il transforme une probabilité en une certitude.

Si nous cultivons l'analogie entre la mécanique quantique et les phénomènes de coïncidences signifiantes (synchronicité), nous pouvons dire que ces dernières sont déjà prêtes avant qu'elles se produisent. Elles ne reçoivent le qualificatif de phénomène que lorsqu'elles sont «enregistrées de manière indélébile par un acte irréversible d'amplification», c'est-à-dire par la conscience. Le choix "retardé" qui déclenche ou ne déclenche pas un phénomène de coïncidence est constitué

par les actes de la vie courante. L'analogie de placer ou de ne pas placer le deuxième miroir semi-argenté au point de croisement des deux faisceaux réside dans nos actes. Tout acte est un choix. Cependant, contrairement à l'expérience du photon dans laquelle le choix retardé se fait en toute connaissance du phénomène à venir, dans le cas des coïncidences significatives, les choix («retardés») sont inconscients ... inconscients du phénomène de coïncidence qui va se produire.

Les systèmes quantiquement intriqués, systèmes non-séparables, sont globalement définis dans l'espace et le temps. Comme le dit Antoine Suarez [21]: "Dans ces systèmes il y a une dépendance entre événements, mais cette dépendance ne correspond à aucun ordre temporel. Le monde quantique ne peut plus être défini en termes d'«avant» et d'«après». Des choses se passent mais le temps, lui, ne passe pas".

Si dans une expérience de mécanique quantique le passé «classique» d'un photon reste indéterminé, qu'en est-il des indéterminations dans notre propre passé? En ce qui concerne notre psychisme, l'analogie du système classique est constitué par notre conscience, laquelle agit comme un détecteur. Quant à l'analogie du système quantique c'est notre psychisme en entier, lequel contient en particulier notre inconscient. On peut imaginer qu'au cours du temps notre inconscient perdure dans une superpositions d'états quantiques. Tant qu'une mesure «classique» n'a pas été effectuée par notre conscience, tant qu'un choix n'a pas été fait, cette superposition cohérente d'états de notre inconscient continue à exister en tant qu'indétermination du passé. Dans l'expérience du choix retardé du photon nous pouvons faire un choix sur le passé «classique» de ce photon, et par conséquent influencer sur ce passé, en choisissant de placer ou de ne pas placer le deuxième miroir semi-argenté. Par analogie, dans quelle mesure pouvons-nous influencer sur notre propre passé et le modifier? Au niveau quantique, c'est-à-dire au niveau de notre inconscient, ce passé est déterminé. Par contre, au niveau classique, au niveau du conscient, il n'est pas forcément complètement déterminé. La reconstitution «classique» de notre passé reste toujours à faire. Dans l'expérience du choix retardé du photon l'influence sur le passé «classique» réside dans le choix entre les deux possibilités du miroir semi-argenté. Il en est de même pour notre psychisme. Selon le «miroir» que nous plaçons dans l'instant présent notre passé «classique» apparaît de telle façon ou de telle autre façon. Les phénomènes enregistrés par notre inconscient perdurent dans une superposition cohérente d'états quantiques. L'éclairage «classique» que lui donne la conscience opère un choix dans cette superposition cohérente d'états quantiques.

Examinons en détail le dispositif expérimental permettant de procéder à l'expérience du choix retardé du photon (figure 1). Nous considérons le cas dans lequel il n'y a qu'un seul miroir semi-argenté (miroir 1). A la traversée du miroir 1 la fonction d'onde du photon se scinde en deux parties:

$$|\phi\rangle = 2^{-1/2}|r\rangle + 2^{-1/2}|t\rangle \quad (1)$$

une partie réfléchiée  $2^{-1/2}|r\rangle$  et une partie transmise  $2^{-1/2}|t\rangle$ .  $|r\rangle$  va interagir avec le détecteur  $d_r$  et  $|t\rangle$  avec le détecteur  $d_t$ . La fonction d'onde du système constitué par le photon et les deux détecteurs est donc:

$$|\psi\rangle = 2^{-1/2}|r\rangle |d_r\rangle + 2^{-1/2}|t\rangle |d_t\rangle \quad (2)$$

La matrice densité du système est celle d'un état pur:

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| \quad (3)$$

Cependant les deux détecteurs  $d_r$  et  $d_t$  interagissent avec l'environnement. Supposant que l'environnement est aussi un système quantique, la fonction d'onde du système global est:

$$|\Psi\rangle = 2^{-1/2}|r\rangle|d_r\rangle|E_r\rangle + 2^{-1/2}|t\rangle|d_t\rangle|E_t\rangle \quad (4)$$

Les informations transmises à l'environnement étant perdues pour l'observateur, le système est par conséquent décrit par une matrice densité réduite:

$$\rho_r = \text{Tr}_E|\Psi\rangle\langle\Psi| = 1/2|r\rangle\langle r| + 1/2|t\rangle\langle t| \quad (5)$$

Cette matrice densité ne correspond plus à un état pur, mais à un mélange statistique.

Comment s'opère le choix entre les deux détecteurs  $d_r$  et  $d_t$ , et par conséquent entre les deux états  $|r\rangle$  et  $|t\rangle$ ?

Remarquons qu'il y a une symétrie entre  $d_r$  et  $d_t$  dans la matrice densité réduite (5).

Nous pouvons imaginer que c'est une brisure spontanée de cette symétrie qui provoque le choix entre  $d_r$  et  $d_t$  (le photon est détecté soit dans  $d_r$ , soit dans  $d_t$ )<sup>5</sup>. Remarquons que tant que nous considérons le photon comme une onde, la symétrie est conservée. Ce n'est que lorsque le photon est détecté en tant que particule que la symétrie est brisée.

Le choix entre  $d_r$  et  $d_t$  pourrait être une brisure de symétrie analogue à celle des bols de salade situés de part et d'autre de chaque convive dînant autour d'une table ronde (symétrie droite-gauche)<sup>6</sup>. Dans cet exemple c'est le choix d'un des convives qui provoque la brisure spontanée de symétrie. Cela peut-être aussi une brisure de symétrie analogue à celle se produisant en-dessous d'une certaine température critique dans un corps ferromagnétique. Dans un tel corps le choix d'une direction donnée pour tous les moments magnétiques des atomes se fait de manière globale.

Revenons à notre photon. Si nous reconstituons classiquement le parcours du photon entre le moment où il a été émis par la source et le moment où il est détecté, par exemple dans le détecteur  $d_t$ , il y a effondrement de la fonction d'onde entre le moment où le photon a traversé le miroir 1 et le moment où il est détecté par  $d_t$ . En réalité il y a effondrement de la fonction d'onde sur toute la durée temporelle comprise entre le moment où le photon est émis par la source et le moment où il est détecté. Or l'expérience du choix retardé du photon montre que cet effondrement se produit au moment précis où le photon est détecté. Nous en concluons qu'il se produit une répercussion de l'effondrement de la fonction d'onde dans le passé. Mais il s'agit du passé classique tel que nous le construisons dans le présent. Comme nous l'avons écrit plus haut, l'effondrement de la fonction d'onde qui se répercute dans le passé constitue une **illusion classique**.

La réduction du paquet d'ondes - ou l'effondrement de la fonction d'onde - s'effectue donc dans l'espace mais aussi dans le temps (dans le passé "classique"). Cette réduction du paquet

---

<sup>5</sup>Communication privée d'Alain Connes.

<sup>6</sup>Exemple cité par Alain Connes.

d'ondes apparaît donc, du point de vue classique, comme un processus global et non local dans l'espace-temps (la réduction du paquet d'ondes du photon détecté par  $d_t$  ne se produit pas uniquement au niveau du détecteur  $d_t$  mais dans tout l'espace incluant la source et les détecteurs, et dans le temps, sur toute la durée entre le moment où il a été émis et le moment où il est détecté).

Remarquons que la mise en place du dispositif expérimental est dû à la conscience humaine. C'est ensuite l'enregistrement du photon par un des deux détecteurs qui effondre la fonction d'onde dans l'espace et le temps (en particulier en remontant dans le passé "classique").

Nous pouvons penser qu'il en est de même pour les processus psychiques. Lorsque la conscience enregistre un événement (comme un des deux détecteurs enregistre le passage d'un photon) il y a également effondrement de la fonction d'onde correspondant à la potentialité de cet événement. Cet effondrement se produit dans tout l'espace mais aussi dans un domaine de temps pouvant remonter assez loin dans le passé. Lorsque cet événement est en coïncidence (signifiante) avec un événement appartenant au passé, l'effondrement de la fonction d'onde se produit sur toute la durée temporelle comprise entre cet événement du passé et l'instant présent.

Lorsque nous accomplissons un acte pour lequel, grâce à notre libre arbitre, nous avons le choix (accomplir ou ne pas accomplir cet acte) et qu'immédiatement après nous observons dans l'espace qui nous environne des événements symboliques en coïncidence signifiante avec l'acte que nous venons d'accomplir, cela indique que l'accomplissement de notre acte a provoqué un effondrement d'une fonction d'onde lequel se répercute dans le passé. Cet effondrement peut même se répercuter loin dans le passé. Cet effondrement est global et non local. C'est la raison pour laquelle les phénomènes de synchronicité (coïncidences significantes) apparaissent comme non causals (ou a-causals).

### 3 Intrication quantique

L'article de Ray Streater, «Locality in the EPR experiment» [22], permet de faire les conclusions suivantes:

Supposons qu'Alice et Bob possèdent chacun une partie d'un système quantiquement intriqué, par exemple deux photons ou deux électrons dont les spins sont corrélés. Si Alice fait une mesure sur l'objet quantique qu'elle possède et lit le résultat de la mesure, dans le cas où Bob n'a pas encore fait de mesure sur son propre objet quantique (ou bien s'il a fait la mesure correspondant à la mesure faite par Alice), Alice connaît l'état quantique de l'objet détenu par Bob.

Cependant elle ne connaît pas l'état «classique» de cet objet, c'est-à-dire l'état résultant d'une mesure faite par Bob. Il y a une exception à cette affirmation c'est lorsque Bob fait, a fait, ou fera, la mesure (classique) correspondant à la mesure (classique) qu'Alice a elle-même faite sur son propre objet. Dans ce cas, et dans ce cas seulement, Alice connaît l'état «classique» de l'objet détenu par Bob.

Dans le cas de deux psychismes quantiquement intriqués (Alice et Bob), si Alice prend conscience d'une information concernant Bob, Alice connaît l'état quantique d'une partie du psychisme de Bob (celle qui est intriquée avec son propre psychisme).

Cependant elle ne connaît pas l'état «classique» du psychisme de Bob, c'est-à-dire ce



qui parvient à la conscience de ce dernier. Il se peut effectivement que ce qui parvient à la conscience de Bob concerne la partie de son psychisme qui est quantiquement intriquée avec celle d’Alice. Dans ce cas il y aura corrélation entre les deux consciences (celle d’Alice et celle de Bob). Mais il est aussi possible que ce qui parvient à la conscience de Bob ne concerne en rien la partie de son psychisme intriquée avec celle d’Alice. Dans ce cas la manifestation de l’intrication quantique (la corrélation) qui est parvenue à la conscience d’Alice reste inconsciente pour Bob.

Dans le cas de l’achat simultané de deux cravates identiques par deux jumeaux qui ne se sont pas, au préalable, concertés, l’intrication (la corrélation) n’apparaît dans le monde «classique» que lorsqu’une conscience humaine (un des deux jumeaux ou une tierce personne) s’est rendue compte du fait.

Lorsque C.G. se sent mal, elle téléphone à sa sœur jumelle. Celle-ci, qui est psychothérapeute, lui dit qu’elle est en train de traiter un cas difficile. C.G. a l’intuition que son malaise provient de son intrication (quantique) avec sa sœur jumelle. Cependant, il lui faut téléphoner à sa sœur, c’est-à-dire qu’il lui faut la transmission d’une information par un canal «classique», pour confirmer que son malaise est bien la manifestation de son intrication quantique avec sa sœur jumelle. Au moment où elle traite le cas d’un patient difficile, celle-ci n’est probablement pas consciente qu’elle provoque un malaise chez sa sœur. Par expérience elle peut cependant devenir consciente de ce fait. Néanmoins elle ne sera jamais sûr de cela car il est probable que sa sœur ne se sent pas nécessairement mal chaque fois qu’elle traite un cas difficile.

## 4 Mesure et Entropie

De manière un peu différente de la division de von Neumann en deux processus, nous pouvons considérer que la première étape d’un processus de mesure en physique quantique est l’interaction de l’objet quantique (sur lequel porte la mesure) avec un appareil de mesure (objet classique). La seconde étape est la lecture du résultat de la mesure par l’observateur (Alice). Supposons que la mesure concerne une observable  $X$  dont les états propres sont  $|\psi_n\rangle$  (sans multiplicité),  $n$  décrivant un ensemble  $J$  d’indices. Supposons de plus que l’état initial du système quantique soit un état pur  $|\phi\rangle$ , élément d’un espace de Hilbert  $H$ .

A la fin de la première étape l’état du système quantique est un mélange statistique de tous les états propres de  $X$ , avec des poids donnés par les probabilités de transition quantique:

$$p_n = |\langle \psi_n | \phi \rangle|^2 \tag{6}$$

Un bon appareil de mesure est un système classique dans lequel le “pointer” de l’appareil est corrélé à 100% avec l’état propre dans lequel le système quantique est projeté. Lorsque le mélange statistique est le résultat de l’interaction de l’appareil de mesure, considéré aussi comme un système quantique, avec l’environnement nous parlons de “pointer-state”.

D’après Ray Streater les détails de l’appareil de mesure n’affectent pas la lecture du résultat de la mesure par l’observateur. Ainsi, une description complète de l’appareil de mesure est donnée par l’indice  $n$ , élément de  $J$ . Nous pouvons décrire les “pointer states” de l’appareil de mesure grâce à une famille d’opérateurs  $\chi_n$  qui agissent dans l’espace de Hilbert  $L^2(J)$ :

$$\chi_n(m) = \delta_{nm} \text{ (symbole de Kronecker)} = 1 \text{ si } m=n \text{ et } = 0 \text{ si } m \text{ est différent de } n.$$

Le résultat de la première étape de la mesure est représenté par la matrice densité réduite:

$$\rho_{red} = \sum_{n \in J} p_n \chi_n \otimes |\psi_n\rangle\langle\psi_n| \quad (7)$$

agissant sur le produit tensoriel de  $L^2(J)$  et de  $H$ . Supposons maintenant que le système quantique ait quitté les “environs” de l’appareil de mesure, qu’Alice lise le résultat de la mesure et que celui-ci corresponde à l’indice  $m$  de  $J$ . Après la mesure le système quantique est donc dans l’état pur  $|\psi_m\rangle$ . L’opérateur densité du système quantique est donc celui d’un état pur:

$$\rho = |\psi_m\rangle\langle\psi_m| \quad (8)$$

L’entropie de von Neumann ( $S = -Tr(\rho \ln \rho)$ ) du système quantique est donc nulle. Supposons maintenant qu’Alice ait fait une lecture incomplète de l’appareil de mesure, c’est-à-dire qu’elle sache seulement que l’indice  $n$  appartient à un sous-ensemble  $K$  de  $J$ . L’opérateur densité du système quantique tel qu’il a été observé par Alice est (von Neumann):

$$\rho_K = \frac{\sum_{n \in K} p_n |\psi_n\rangle\langle\psi_n|}{\sum_{n \in K} p_n} \quad (9)$$

L’entropie de von Neumann de ce système est

$$S_K = -\frac{\sum_{n \in K} p_n \ln\left(\frac{p_n}{\sum_{m \in K} p_m}\right)}{\sum_{n \in K} p_n} = -\left(\frac{\sum_{n \in K} p_n \ln p_n}{\sum_{n \in K} p_n} - \ln\left(\sum_{n \in K} p_n\right)\right) \quad (10)$$

Lorsque la mesure d’Alice est complète (mesure d’un état propre  $|\psi_m\rangle$  de l’observable  $X$ ) nous retrouvons une entropie nulle et lorsque la mesure d’Alice est totalement incomplète, c’est-à-dire par exemple lorsqu’elle n’a pas lu le résultat de la mesure, nous retrouvons l’entropie habituelle du mélange statistique résultat de l’interaction du système quantique avec l’appareil de mesure, suivie de l’interaction de ce dernier avec l’environnement:

$$S_J = -\sum_{n \in J} p_n \ln p_n \quad (11)$$

Nous voyons dans ces exemples que l’entropie (de von Neumann) du système quantique après la mesure est directement liée à la connaissance, c’est-à-dire à l’information, qu’Alice a du système quantique qui a subi le processus de mesure.

Si Alice fait une mesure complète de l’observable  $X$  son information augmente de la quantité  $S_J$  donnée par la formule 11 ce qui correspond à une augmentation de l’entropie de l’environnement (le corps d’Alice compris) d’une quantité au moins égale à  $S_J$ . Le fait que l’information acquise par Alice sur l’objet quantique ait augmenté de la quantité  $S_J$  nous indique que l’entropie (de von Neumann) du système *objet quantique + conscience d’Alice* a diminué de cette même quantité compensée par une quantité au moins égale de l’augmentation de l’entropie de l’environnement.

Revenons maintenant au cas où Alice a fait une lecture incomplète de la mesure de l’observable  $X$  et qu’elle sache seulement que la valeur propre de l’observable  $X$  se trouve dans le sous-ensemble des valeurs propres indicé par le sous-ensemble  $K$  de  $J$ . Si nous posons

$$p_K = \sum_{n \in K} p_n \quad (12)$$

ce qui n'est autre que la probabilité de mesurer la valeur propre de X dans le sous-ensemble indicé par K, la formule 10 se réécrit:

$$S_K = - \sum_{n \in K} \frac{p_n}{p_K} \ln\left(\frac{p_n}{p_K}\right) \quad (13)$$

La quantité  $S_K$  mesure l'information manquante d'Alice concernant l'observable X attachée à l'objet quantique. Nous sommes en présence d'une entropie relative au sous-ensemble d'indices  $K$ .

Si l'appareil de mesure est macroscopique et s'il a enregistré une valeur propre précise de l'observable X, l'entropie de l'environnement a augmenté de la valeur  $S_J$  donnée par la formule 11. Si c'est la lecture faite par Alice de l'appareil de mesure qui est incomplète, l'entropie (de von Neumann) du système *objet quantique + conscience d'Alice* aura diminué de la quantité:

$$S_J - p_K S_K \quad (14)$$

compensée par une augmentation d'une quantité au moins égale de l'entropie de l'environnement (par exemple la chaleur dégagée par le corps d'Alice).

Supposons que nous ayons un système  $O$  (qui peut être quantique) sur lequel nous voulons obtenir des informations (par exemple sur une observable X de ce système). L'information manquante, c'est-à-dire l'entropie de Shannon (ou l'entropie de von Neumann s'il s'agit d'un système quantique qui a interagi avec l'environnement), est donnée par la formule 11.

Si nous divisons l'ensemble des informations que nous pouvons obtenir sur le système  $O$  en deux sous-ensembles, correspondant à deux sous-ensembles d'indices  $J_1$  et  $J_2$  de  $J$  (tels que  $J_1 \cup J_2 = J$  et  $J_1 \cap J_2 = \emptyset$ ), et si  $p_{J_1}$  et  $p_{J_2}$  désignent respectivement les probabilités que l'information manquante se trouve indicée dans  $J_1$  ou dans  $J_2$ , nous pouvons réécrire la formule 11 sous la forme:

$$S_J = p_{J_1} S_{J_1} + p_{J_2} S_{J_2} - (p_{J_1} \ln(p_{J_1}) + p_{J_2} \ln(p_{J_2})) \quad (15)$$

dans laquelle  $S_{J_1}$  et  $S_{J_2}$  sont des entropies relatives données par des formules analogues à la formule 13:

$$S_{J_1} = - \sum_{n \in J_1} \frac{p_n}{p_{J_1}} \ln\left(\frac{p_n}{p_{J_1}}\right) \quad (16)$$

$$S_{J_2} = - \sum_{n \in J_2} \frac{p_n}{p_{J_2}} \ln\left(\frac{p_n}{p_{J_2}}\right) \quad (17)$$

Si Alice fait une mesure et trouve que l'information cherchée est dans le sous-ensemble indicé par  $J_1$ , son entropie de Shannon (son information manquante) aura diminué de

$$p_{J_2} S_{J_2} - (p_{J_1} \ln(p_{J_1}) + p_{J_2} \ln(p_{J_2})) \quad (18)$$

une quantité positive, ou augmenté de

$$-p_{J_2} S_{J_2} + (p_{J_1} \ln(p_{J_1}) + p_{J_2} \ln(p_{J_2})) \quad (19)$$

une quantité négative.

L'information manquante restante pour Alice est alors donnée par  $S_{J_1}$ .

A chaque niveau de l'information acquise par Alice l'entropie de l'environnement augmente d'une quantité au moins égale à la quantité d'information acquise.

Remarquons que tout ce qui a été écrit dans ce paragraphe, et ce qui le sera dans le suivant, correspond à de l'information classique, c'est-à-dire à l'entropie classique de Shannon-Boltzmann-Gibbs, étant donné qu'après interaction avec l'environnement, l'entropie de von Neumann devient une telle entropie classique. En effet l'information sur les phases entre les différents états quantiques, phases qui caractérisent les superpositions d'états quantiques, n'est plus accessible dans le type de mesures considéré.

## 5 Information en couches

Le psychisme d'un individu donné est créé à partir de l'état de vide  $|\Omega\rangle$  par construction, dans un premier temps, de l'état fondamental de l'espèce humaine  $|G(t)\rangle$  (formules 13, 14, 15 et 16 de la référence [8]). Dans un deuxième temps il y a construction, à partir de cet état  $|G(t)\rangle$  qui représente l'inconscient collectif, d'un inconscient familial décrit par l'état  $|G_{\text{Effectif}}(t)\rangle$  (formule 19 de la référence [8]), puis construction d'un inconscient individuel décrit par l'état  $|G_{\text{Individuel}}(t)\rangle$  (formule 19 bis de la référence [8]). L'état psychique de cet individu est donc décrit, à un instant donné  $t$ , par l'action de l'opérateur création propre à cet individu,  $a_{\text{Individuel}}^\dagger(t, x_{\text{Individuel}}(t))$ , sur l'état  $|G_{\text{Individuel}}(t)\rangle$  (son inconscient individuel à l'instant  $t$ ):

$$|P(t, x(t))\rangle = a_{\text{Individuel}}^\dagger(t, x_{\text{Individuel}}(t)) |G_{\text{Individuel}}(t)\rangle \quad (20)$$

Nous avons donc une sorte de modèle en couches du psychisme humain que nous pouvons comparer au modèle stratifié de la structure de la matière: molécules, atomes, noyaux, protons et neutrons, et enfin, au stade actuel des connaissances, quarks et gluons. Remarquons que ces derniers sont confinés à l'intérieur des nucléons (protons et neutrons). Il serait ainsi possible de comparer ce confinement des quarks et des gluons aux parties les plus profondes de notre inconscient, en particulier les parties refoulées.

Supposons qu'Alice (état psychique  $|C1\rangle$ ) veuille obtenir des informations sur l'inconscient de Bob (état psychique  $|C2\rangle$ ). Dans un premier temps au cours de la rencontre d'Alice et de Bob leurs inconscients interagissent ce qui provoque la formation d'un état d'intrication quantique des deux inconscients. Supposons que dans un premier temps Alice veuille obtenir une information sur une observable  $X_1$  dont les valeurs propres et les états propres sont au nombre de deux (situation binaire). L'interaction du psychisme (de l'inconscient) d'Alice avec l'environnement (l'inconscient collectif  $|G(t)\rangle$ ) provoque l'apparition de deux "pointer states"

$|C11 \rangle$  et  $|C12 \rangle$  dans le psychisme d’Alice, respectivement corrélés aux états  $|C21 \rangle$  et  $|C22 \rangle$  du psychisme de Bob (états propres de l’observable  $X$  dont Alice veut obtenir des informations).

Si  $p_1$  et  $p_2$  sont les probabilités respectives que les pointer states  $|C11 \rangle$  et  $|C12 \rangle$  parviennent à la conscience d’Alice, l’information manquante pour Alice (entropie de Shannon ou de von Neumann) est donnée par la formule:

$$-(p_1 \ln(p_1) + p_2 \ln(p_2)) \quad (21)$$

Lorsque Alice acquiert l’information  $|C11 \rangle$  ou  $|C12 \rangle$ , c’est-à-dire lorsque cette information parvient à sa conscience, l’entropie du système *inconscient de Bob + conscience d’Alice* diminue de la quantité

$$-(p_1 \ln(p_1) + p_2 \ln(p_2)) \quad (22)$$

alors que l’entropie de l’environnement augmente de la même quantité.

Supposons que cela soit l’état  $|C11 \rangle$  qui soit parvenu à la conscience d’Alice indiquant que l’inconscient de Bob se trouve dans l’état  $|C21 \rangle$ . Supposons qu’Alice veuille raffiner ses informations sur l’inconscient de Bob et qu’à partir de cet état  $|C21 \rangle$  de l’inconscient de Bob elle veuille avoir accès à des couches plus profondes de cet inconscient.

Pour cela elle va essayer d’avoir accès aux valeurs propres et aux états propres d’une nouvelle observable  $X_2$  de l’inconscient de Bob. Supposons, comme dans le paragraphe précédent, que les états propres de  $X_2$ ,  $|C21n_1 \rangle$ , soient indicés dans un ensemble  $J_1$  ( $n_1 \in J_1$ ). Après interaction avec l’environnement les pointer states correspondants du psychisme d’Alice seront les états  $|C11n_1 \rangle$  (chaque état  $|C11n_1 \rangle$  du psychisme d’Alice étant corrélé à l’état  $|C21n_1 \rangle$  de l’inconscient de Bob). Soit  $p_{n_1}$  la probabilité que le psychisme de Bob soit dans l’état  $|C21n_1 \rangle$ . La probabilité relative après la première mesure faite par Alice (observable  $X_1$ ) est  $\frac{p_{n_1}}{p_1}$  et l’information manquante pour Alice (entropie de Shannon ou de von Neumann) est donnée par une formule analogue à la formule 16:

$$S_1 = - \sum_{n_1 \in J_1} \frac{p_{n_1}}{p_1} \ln\left(\frac{p_{n_1}}{p_1}\right) \quad (23)$$

Avant la prise de conscience d’Alice concernant l’observable  $X_2$  l’entropie du système *inconscient de Bob + conscience d’Alice* est  $S_1$ . Lorsqu’Alice acquiert l’information, c’est-à-dire lorsque le pointer state  $|C11n_1 \rangle$  parvient à sa conscience, l’entropie de ce système diminue de la quantité  $S_1$ , compensée par une augmentation d’au moins la même quantité de l’entropie de l’environnement.

Et ainsi de suite, nous pouvons poursuivre le même raisonnement pour de nouvelles couches plus profondes de l’inconscient de Bob.

## 6 Y-a-t’il un effondrement de la fonction d’onde?

Nicolas J. Cerf et Chris Adami [4] analysent le processus de la mesure en mécanique quantique à la lumière de la théorie de l’information appliquée à l’intrication quantique. Dans

leur interprétation le processus de mesure est décrit par des interactions unitaires conservant l'entropie. Dans un tel cadre, lors du processus de mesure, il y a ni effondrement de la fonction d'onde, ni saut quantique.

Cerf et Adami considèrent un objet quantique Q et un dispositif de mesure A lui-même système quantique. Le processus de mesure commence par l'intrication quantique entre Q et A (première étape de la mesure chez von Neumann), c'est-à-dire la création d'un état EPR "QA", ce qui crée des «*super-corrélations*» entre Q et A.

"The system QA thus created is inherently quantum, and cannot reveal any classical information. To obtain the latter, we need to create classical correlations between *part* of the EPR-pair QA and *another* ancilla A', i.e., we need to observe the quantum observer." De manière unitaire il y a alors création d'un triplet EPR QAA' décrit par un état pur  $|QAA' \rangle$  et par conséquent par la matrice densité:

$$\rho_{QAA'} = |QAA' \rangle \langle QAA'| \quad (24)$$

"Expérimentalement nous sommes seulement intéressés par les corrélations entre A et A', et non par les corrélations entre A et Q (qui sont de toute façon inobservables)... It is immediately obvious that when ignoring the quantum state Q *itself*, as paradoxically as it may appear at first sight, A and A' find themselves classically correlated and in a *mixed* state":

$$\rho_{AA'} = Tr_Q(\rho_{QAA'}) \quad (25)$$

L'entropie du système AA' est positive, mais elle est compensée par une entropie conditionnelle de Q (entropie de Q connaissant le système AA') qui est négative, l'entropie du système total QAA' restant nulle, ce dernier système restant un état pur.

Il est difficile de comprendre comment le triplet EPR QAA' est encore décrit par l'état pur  $|QAA' \rangle$  après la mesure. En effet si la mesure de la corrélation classique entre A et A' fait apparaître une certaine valeur propre de l'observable X considérée, l'objet quantique Q se trouve, dans presque tous les modèles de mesure quantique connus, dans l'état propre correspondant à la valeur propre mesurée. Un choix - le choix de l'état propre mesuré - s'est produit. Il y a eu saut quantique et effondrement de la fonction d'onde, ce qui n'intervient pas dans le modèle de Cerf et Adami.

Il s'agit de trouver un test expérimental permettant de faire la différence entre les théories de la mesure quantique se faisant sans effondrement de la fonction d'onde, ni saut quantique, (théorie des univers parallèles d'Everett [3], théorie de l'entropie négative de Cerf et Adami [4]) et les théories usuelles postulant (ou impliquant) un effondrement de la fonction d'onde et des sauts quantiques (théorie de l'Ecole de Copenhague, théorie de von Neumann [1], décohérence quantique [2], ...).

Cependant le fait qu'il n'y ait pas saut quantique, et qu'un système EPR reste pratiquement dans l'état pur dans lequel il se trouvait avant la mesure, est extrêmement intéressant en ce qui concerne les inconscients.

Supposons qu'en ce qui concerne une information (par exemple deuil et non-deuil <sup>7</sup>) l'inconscient de Bob (C2) soit dans une superposition de deux états:

$$|C2 \rangle = \sin\theta |C20 \rangle + \cos\theta e^{i\phi} |C21 \rangle \quad (26)$$

---

<sup>7</sup>Voir la prochaine section.

Supposons que, dans le cadre de cette information binaire, l'inconscient d'Alice ( $C1$ ) se connecte à celui de Bob pour former un état EPR:

$$|C1, C2 \rangle = \sin\theta |C10 \rangle |C20 \rangle + \cos\theta e^{i\phi} |C11 \rangle |C21 \rangle \quad (27)$$

Nous pouvons considérer que, par l'interaction du psychisme d'Alice avec l'environnement (un phénomène analogue à la décohérence quantique pour les systèmes physiques), la conscience d'Alice n'ait pas accès à l'état pur  $|C1, C2 \rangle$  mais à une matrice densité réduite analogue à la formule (25):

$$\rho_{C1C2} = Tr_{C3}(\rho_{C1C2C3}) \quad (28)$$

la trace étant prise sur un degré de liberté inconnu formant un triplet EPR avec les inconscients de Bob et Alice (cela peut être l'inconscient d'une tierce personne,  $C3$ , ou même l'inconscient collectif  $|G(t) \rangle$ ). Nous obtenons alors:

$$\rho_{C1C2} = \sin^2\theta |C10 \rangle \langle C10| |C20 \rangle \langle C20| + \cos^2\theta |C11 \rangle \langle C11| |C21 \rangle \langle C21| \quad (29)$$

reliée à une augmentation d'entropie:

$$S = -(\sin^2\theta \log(\sin^2\theta) + \cos^2\theta \log(\cos^2\theta)) \quad (30)$$

Nous supposons que cette prise de conscience d'Alice, liée à une production d'entropie, ne détruit pas l'état EPR  $|C1, C2 \rangle$  (27). Cette prise de conscience peut cependant induire une transformation unitaire de l'état EPR  $|C1, C2 \rangle$  (27), en particulier en faisant varier les angles  $\theta$  et  $\phi$  en fonction du temps.

Remarquons que la façon dont nous venons de procéder dans ce calcul ne correspond pas à celle de Cerf et Adami. En effet, contrairement à ces derniers, nous n'avons pas pris la trace sur l'état quantique de l'objet de la mesure (l'inconscient  $|C2 \rangle$  de Bob) mais sur un troisième état quantique  $|C3 \rangle$  auquel Alice et Bob sont quantiquement corrélés. Cette méthode se rapproche plus de la méthode utilisée en décohérence quantique, c'est-à-dire la dissolution de certains degrés de liberté dans l'environnement.

Néanmoins, à partir du prochain paragraphe, nous appliquerons au problème de la mesure de l'inconscient une méthode très analogue à celle de Cerf et Adami.

Revenons un moment à la théorie de l'entropie négative de Cerf et Adami. Dans leur article "What Information Theory Can Tell Us About Quantum Reality" [23], ils prétendent résoudre le paradoxe du "Chat de Schrödinger" en sommant sur les états quantiques de la substance radioactive provoquant (ou ne provoquant pas) la mort du chat. Cependant, comme à aucun moment ils ne définissent des pointer-states (que l'on définit d'habitude par interaction avec l'environnement), il est toujours possible de faire un changement de base avant la sommation sur les états de l'atome radioactif, et ainsi nous obtiendrons des états réels qui seront des superpositions de l'état "chat vivant" et de l'état "chat mort" (remarquons que le même problème se pose dans la théorie des univers parallèles d'Everett [3]).

De plus, ils écrivent: “Fundamentally, the reason why the observer does not register a cat mired in a quantum superposition of the living and non-living states is because the observer, having interacted with the cat, is entangled with, and thus part of, the *same* wavefunction. As the wavefunction is *indivisible*, an observer (or measurement device) would have to monitor *itself* in order to learn about the wavefunction. This is logically impossible.”

Ceci est contesté par Dimiter G. Chakalov [24]: “I think self-monitoring is an essential introspective feature of human consciousness: we do know the quale of our brain’s wavefunction - the human self? - being entangled with our brain, and thus part of the *same* wavefunction. Psychologically, this is manifested in our ability to think ABOUT that which we think (our brain), BY that with which we think (our brain). Hence the statement by C. Adami and N.J. Cerf is NOT valid for human consciousness.”

Dans le même ordre d’idée Matti Pitkanen [25] écrit : “Quantum jump/state function collapse can explain the active aspect of conscious (bodily actions, etc). But can it explain the passive aspect of consciousness involving no conscious choice (sensory experience)?

That standard quantum jump between eigenstates of observables is not enough to understand consciousness is suggested by several arguments, besides this self monitoring aspect emphasized by Dimitri Chakalov.

a) Sensory experience does not involve experience of free will.

b) If contents of contents are defined by the initial and final states of quantum jumps which are different, then it would be impossible to have objective information about quantum states but only quantum state pairs.

c) It would be difficult to understand the apparent continuity of conscious experience since same subsystem could not participate in subsequence quantum jumps.

If one assumes also that quantum jumps changing only the phase associated with subsystems state function so that physical state remains as such, are possible then one can solve these problems. In Topological Geometrodynamics context the strong form of Negentropy Maximization Principle allows systems with *minimal* quantum entanglement to perform these quantum jumps. These passive quantum jumps could also correspond to the self monitoring aspect of consciousness. They are also very close to classical measurements since they do not change the physical state, but of course, respect uncertainty principle. This leads to two strategies of being conscious: either minimize/maximize entanglement entropy in order to achieve knowledge about world/power to change it.”

Ceci nous conforte dans l’idée que les états de conscience correspondent à des sauts quantiques qui ne sont pas associés à un effondrement de la fonction d’onde de l’inconscient. En particulier ils ne détruisent pas les états d’intrication quantique dans lesquels se trouve l’inconscient. Ceci est proche de la façon de voir de Cerf et Adami. Cependant, pour nous, les pointer-states, c’est-à-dire les états qui parviennent à la conscience, sont définis par l’interaction du psychisme avec l’environnement. Cette interaction avec l’environnement fait parvenir à la conscience des états qui sont *en accord* avec l’environnement, et donc, avec la réalité *classique* qui nous entoure. Ainsi ce n’est pas un état de superposition d’un chat mort avec un chat vivant qui parvient à notre conscience. Il peut cependant se trouver certaines circonstances dans lesquelles la prise de conscience se fait sur des états *mystiques*, états qui ne sont pas *en accord* avec la réalité *classique* qui nous entoure. Dans ces rares cas la prise de conscience d’un état fondamentalement quantique serait “protégée” de l’interaction avec l’environnement.



## 7 Modèle quantique du deuil

Nous allons étudier comment Bob affronte le deuil, par exemple la perte de son père <sup>8</sup>. Nous allons considérer la partie de l'inconscient de Bob qui est relative à ce deuil. Nous la désignerons par  $|CD2\rangle$ , vecteur d'un espace de Hilbert.

Comme conséquence de l'interaction avec l'environnement nous allons supposer qu'il existe deux pointer-states, c'est-à-dire deux états stables concernant le deuil qui peuvent parvenir à la conscience de Bob. Il y aurait ainsi, tout d'abord, l'état  $|CD21\rangle$  qui correspondrait à un deuil totalement non réalisé (Bob n'aurait pas du tout accepté la mort de son père). Puis il y aurait l'état  $|CD20\rangle$  pour lequel le deuil serait réalisé (Bob aurait complètement accepté la mort de son père). Il nous semble que ces deux états peuvent constituer des pointer-states tout à fait réalistes dans la mesure où ils sont associés chacun à une certaine réalité. Le premier état est associé à la réalité: le père est encore vivant. Quant au second état il est associé à la réalité: le père est décédé. Ces deux pointer-states correspondent aussi chacun aux réponses que Bob peut faire à la question suivante: "Ton père est-il mort?". La réponse étant "Non" dans le premier cas et "Oui" dans le second. Nous supposons que chacun de ces deux états sont des états d'entropie minimale en ce qui concerne l'interaction avec l'environnement. Nous sommes donc en présence d'une situation binaire.

L'état de l'inconscient de Bob lié à ce deuil est donc une superposition des deux pointer-states  $|CD21\rangle$  et  $|CD20\rangle$ , superposition que nous paramétrons avec les angles  $\theta$  et  $\phi$  (représentation proche de celle de la sphère de Bloch):

$$|CD2\rangle = \sin\theta|CD20\rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CD21\rangle \quad (31)$$

Les états de conscience correspondant respectivement au deux pointer-states seront désignés par  $|CC21\rangle$  et  $|CC20\rangle$  ( $|CC\rangle$  désigne d'une manière générale les états de conscience). Pour être plus précis ce sont d'ailleurs eux les pointer-states.

Si nous suivons la théorie de la mesure de Cerf et Adami nous sommes conduits à supposer l'existence d'un système quantique intermédiaire entre  $|CD\rangle$  et  $|CC\rangle$  qui interagit avec  $|CD\rangle$  de manière à former un doublet EPR (un état d'intrication quantique) avec  $|CD\rangle$  et qui permet ensuite le passage à un état de conscience. C'est ce que Cerf et Adami désignent par une "ancilla" A. Dans notre cas nous pouvons supposer qu'il s'agit de "l'insight", cette intuition, cette perspicacité qui font que quelque chose parvient à notre conscience. Il s'agit d'un système quantique inconscient (ou préconscient; une partie du fonctionnement inconscient de notre cerveau) que nous désignerons par  $|CI\rangle$ , vecteur d'un espace de Hilbert.

Résumons nous. Dans le cas de Bob et de son problème de deuil, la partie de son inconscient concernée par ce deuil forme, dans un premier temps, un doublet EPR avec "l'insight":

$$|CD2, CI2\rangle = \sin\theta|CD20\rangle|CI20\rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CD21\rangle|CI21\rangle \quad (32)$$

Puis, dans un deuxième temps, il y a formation d'un triplet EPR avec les états de conscience  $|CC\rangle$ :

$$|CD2, CI2, CC2\rangle = \sin\theta|CD20\rangle|CI20\rangle|CC20\rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CD21\rangle|CI21\rangle|CC21\rangle \quad (33)$$

---

<sup>8</sup>Un des deux auteurs de cet article (GGC) a publié une étude du mécanisme du deuil dans le cadre de la théorie du chaos [26].

Ce triplet EPR est un état pur, écrit ici dans la base des pointer-states  $|CC20\rangle$  et  $|CC21\rangle$ . La matrice densité représentant cet état pur est:

$$\rho_{CD2,CI2,CC2} = |CD2, CI2, CC2\rangle\langle CD2, CI2, CC2| \quad (34)$$

Suivant toujours la méthode de Cerf et Adami, nous sommes sur les états inconscients  $|CD\rangle$  auxquels nous n'avons pas accès et nous obtenons la matrice densité réduite:

$$\rho_{CI2,CC2} = Tr_{CD2}(\rho_{CD2,CI2,CC2}) \quad (35)$$

soit

$$\rho_{CI2,CC2} = \sin^2\theta|CI20\rangle\langle CI20| + \cos^2\theta|CI21\rangle\langle CI21| \quad (36)$$

Nous faisons ainsi apparaître une corrélation classique entre l'insight et les états de conscience. L'entropie de von Neumann du système (CI2,CC2) est positive:

$$S(CI2, CC2) = -(\sin^2\theta \log(\sin^2\theta) + \cos^2\theta \log(\cos^2\theta)) \quad (37)$$

L'entropie de von Neumann du triplet EPR (CD2,CI2,CC2) est nulle, celui-ci étant un état pur:

$$S(CD2, CI2, CC2) = 0 \quad (38)$$

Or nous avons la formule:

$$S(CD2, CI2, CC2) = S(CI2, CC2) + S(CD2|CI2, CC2) \quad (39)$$

dans laquelle  $S(CD2|CI2, CC2)$  est l'entropie conditionnelle de l'inconscient (CD2) de Bob connaissant le système constitué par l'insight et la conscience: (CI2,CC2). Cette entropie conditionnelle est négative:

$$S(CD2|CI2, CC2) = -S(CI2, CC2) = \sin^2\theta \log(\sin^2\theta) + \cos^2\theta \log(\cos^2\theta) \quad (40)$$

Tel est le résultat que nous obtenons en appliquant la méthode de Cerf et Adami, ayant supposé de plus que les pointer-states de la conscience sont définis par l'environnement.

## 7.1 Le rôle des différentes parties de l'inconscient dans le deuil

Selon S. Freud l'inconscient serait composé de différentes parties: le ça (Id en anglais), le refoulé (Repressed), le moi (ego), le surmoi (super-ego), parties auxquelles il faut ajouter le Soi défini par C.G. Jung (Selbst en allemand, ou OneSelf en anglais). Au point de vue quantique ces différentes parties constituent l'état fondamental  $|G_{Individuel}(t)\rangle$  sur lequel se construit le

psychisme (et en particulier les états de conscience) d'un individu à l'instant  $t$  [8]. De plus, il ne faut pas oublier l'état  $|G(t)\rangle$ , état fondamental, sorte d'inconscient collectif à l'instant  $t$ , sur lequel se construit l'état  $|G_{Individuel}(t)\rangle$ .

Chacune des différentes parties de l'inconscient sera formalisée par un espace de Hilbert: par exemple  $H_{Id}$ ,  $H_{Repressed}$ ,  $H_{Ego}$ ,  $H_{Super-ego}$ ,  $H_{OneSelf}$ , ... L'espace de Hilbert  $H$  représentant l'inconscient sera le produit tensoriel de ces différents espaces de Hilbert:

$$H = H_{Id} \otimes H_{Repressed} \otimes H_{Ego} \otimes H_{Super-ego} \otimes H_{OneSelf} \dots \quad (41)$$

Remarquons que selon Freud une partie du moi et du surmoi sont dans le préconscient et dans le conscient («the tip of the iceberg»).

Envisageons maintenant comment ces différentes parties de l'inconscient agissent dans le deuil.

Prenons le cas du refoulé. Les états de l'espace de Hilbert  $H_{Repressed}$  lié à Bob seront désignés par  $|CR2\rangle$ . Supposons que Bob ait refoulé la pensée: «J'ai envie de tuer mon père». Cette pensée refoulée rendra le deuil du père impossible. Nous supposerons donc, dans ce cas, qu'en ce qui concerne le deuil, le refoulé de Bob sera dans l'état  $|CR21\rangle$  (état rendant le deuil impossible). Supposons, à l'autre extrême, que rien dans le refoulé de Bob n'empêche le deuil de se réaliser. Le refoulé de Bob sera alors dans l'état  $|CR20\rangle$ . Du point de vue quantique le refoulé de Bob s'écrira comme une combinaison linéaire de ces deux états:

$$|CR2\rangle = a|CR20\rangle + b|CR21\rangle \quad (42)$$

Considérons maintenant l'espace de Hilbert produit tensoriel  $H_{Repressed} \otimes H_{Ego}$ . Décomposons un état de cet espace,  $|CR2, C_{Ego}2\rangle$ , lié au deuil, sur la base ( $|CR20\rangle$ ,  $|CR21\rangle$ ). Nous écrivons:

$$|CR2, C_{Ego}2\rangle = a'|CR20\rangle |C_{Ego}20\rangle + b'|CR21\rangle |C_{Ego}21\rangle \quad (43)$$

Poursuivons ce raisonnement en incluant toutes les parties de l'inconscient qui participent du deuil. L'état lié au deuil de l'espace de Hilbert  $H$  s'écrira donc, en utilisant une représentation proche de celle de la sphère de Bloch:

$$\begin{aligned} &|CR2, C_{Ego}2, C_{Id}2, C_{Super-ego}2, C_{OneSelf}2, \dots\rangle = \\ &\sin\theta |CR20\rangle |C_{Ego}20\rangle |C_{Id}20\rangle |C_{Super-ego}20\rangle |C_{OneSelf}20\rangle \dots + \\ &\cos\theta e^{i\phi} |CR21\rangle |C_{Ego}21\rangle |C_{Id}21\rangle |C_{Super-ego}21\rangle |C_{OneSelf}21\rangle \dots \end{aligned}$$

ce que nous réécrivons, en posant:

$$|CD2\rangle = |CR2, C_{Ego}2, C_{Id}2, C_{Super-ego}2, C_{OneSelf}2, \dots\rangle,$$

$$|CD20\rangle = |CR20\rangle |C_{Ego}20\rangle |C_{Id}20\rangle |C_{Super-ego}20\rangle |C_{OneSelf}20\rangle \dots,$$

et

$$|CD21\rangle = |CR21\rangle |C_{Ego}21\rangle |C_{Id}21\rangle |C_{Super-ego}21\rangle |C_{OneSelf}21\rangle \dots,$$

$$|CD2 \rangle = \sin\theta|CD20 \rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CD21 \rangle \quad (44)$$

qui n'est autre que la formule 31.

Nous avons ainsi construit la partie de l'inconscient de Bob liée au deuil à partir de l'influence sur ce deuil de chacune des structures de cet inconscient. Remarquons que les angles  $\theta$  et  $\phi$  (et particulièrement l'angle  $\theta$ ) sont déterminés par l'influence de chacune des parties de l'inconscient sur le processus de deuil.

En particulier si le refoulé est tel qu'il rende le deuil impossible (par exemple à cause la pensée «J'ai envie de tuer mon père») l'angle  $\theta$  sera proche de zero et  $|CD2 \rangle$  sera pratiquement égal à  $|CD21 \rangle$  (à une phase  $\phi$  près) (le deuil n'est absolument pas réalisé).

## 7.2 Prise de conscience des états de deuil

Puisque que la formule 44 est l'analogie de la formule 31 nous supposons que la procédure de prise de conscience par Bob de son deuil est celle décrite au début de cette section. C'est à dire que la conscience de Bob (état  $|CC2 \rangle$ ) se couple à la partie de son inconscient concernant le deuil ( $|CD2 \rangle$ ) par l'intermédiaire de "l'insight" ( $|CI2 \rangle$ ), cette instance préconsciente du psychisme qui fait passer un élément de l'inconscient à la conscience.

Remarquons que dans les expériences de Libet [27] sur le cerveau la décision d'exécuter un acte musculaire est prise une demi-seconde avant la conscience de cette même décision. Il semble donc bien qu'au niveau neuronal il y ait un processus inconscient qui précède la prise de conscience d'un acte (ou d'une pensée). C'est ce processus que nous associerons à "l'insight".

En ce qui concerne la division freudienne du psychisme, les états de conscience,  $|CC \rangle$ , seront associés au moi (Ego) conscient. Quant aux états de "l'insight",  $|CI \rangle$ , nous pouvons les associer au moi préconscient. Nous laisserons de côté la possibilité d'avoir un surmoi (Super-ego) conscient et préconscient.

Comme nous l'avons indiqué au début de cette section il y a formation d'un triplet EPR  $|CD, CI, CC \rangle$  donné par la formule 33. Suivant la méthode de Cerf et Adami nous sommes sur les états inconscients du deuil  $|CD \rangle$  auxquels Bob n'a pas accès pour obtenir une corrélation classique entre l'insight et les états de conscience de Bob. Le mélange statistique 36 est un mélange des pointer-states correspondant à une certaine réalité du monde classique que nous percevons:  $|CC21 \rangle$  - le père est toujours vivant - et  $|CC20 \rangle$  - le père est accepté comme mort -.

Lorsque nous sommes dans un état d'éveil nous sommes constamment en train de penser. C'est-à-dire que l'insight fait continuellement parvenir à notre conscience des pensées. Pour Bob, parmi ces pensées continues, certaines ont un rapport avec le deuil, c'est-à-dire avec la mort de son père. Certaines de ces pensées seront: "la pensée que mon père est mort me fait trop souffrir, je ne peux pas accepter son décès" ( $|CC21 \rangle$ ). D'autres seront: "mon père est mort, c'est un fait; je suis calme par rapport à cette pensée" ( $|CC20 \rangle$ ). Dans l'ensemble statistique des pensées de Bob relatives au deuil de son père, les pensées du premier type seront affectées du poids statistique  $\cos^2\theta$ . Quant aux pensées du deuxième type leur poids statistique sera  $\sin^2\theta$ .

Selon la philosophie de Cerf et Adami, selon laquelle il n'y a pas d'effondrement de la fonction d'onde, ainsi que selon Matti Pitkanen, pour qui les sauts quantiques associés aux prises de conscience n'impliquent pas un effondrement de la fonction d'onde de l'inconscient, les prises de conscience de Bob concernant le deuil ne modifient pas de manière drastique l'état

quantique de son inconscient lié au deuil,  $|CD2\rangle$ . Ce dernier sera toujours donné par une formule analogue à la formule 31 ou 44. Cet état quantique subira une évolution unitaire en fonction du temps, une évolution que nous pouvons qualifier d’adiabatique (sans variation d’entropie).

C’est ainsi que l’angle  $\theta$  sera une fonction du temps psychologique de Bob, lequel est évidemment relié au temps physique. Juste après le décès de son père, l’angle  $\theta$  sera proche de zéro (le deuil n’aura pas encore commencé). Cependant dans certains cas, lorsque nous savons que notre père va mourir, le deuil peut avoir commencé avant son décès. Quoi qu’il en soit lorsque le deuil n’a pas commencé l’angle  $\theta$  est égal à zéro. Bob est alors dans un état de déni ou de rébellion. Si le deuil se passe bien, cet angle évoluera, en fonction du temps psychologique, de la valeur zéro à la valeur  $\pi/2$ , valeur qui correspond à un deuil réalisé, ce qui correspond à un état névrotique “normal”. Remarquons que l’angle  $\theta$  ne varie pas nécessairement de façon monotone en fonction du temps (psychologique). Il peut y avoir des “retours en arrière”. Dans le cas de deuil pathologique l’angle  $\theta$  peut rester gelé à une valeur proche de zéro. Nous pouvons avoir recours à un thérapeute pour permettre au deuil de se réaliser (voir section suivante sur les corrélations entre Alice et Bob). Lorsque la valeur de l’angle  $\theta$  est entre zéro et  $\pi/2$  cela correspond en général à un état dépressif.

## 8 Corrélation entre Alice et Bob

### 8.1 Corrélation par échange d’un boson d’interaction

L’exemple que nous allons donner est un fait qui s’est réellement produit. Au cours d’un concert donné en l’honneur de Bob, la 32ème sonate de Beethoven doit être interprétée. Alice, qui n’a pas vu Bob depuis longtemps, n’est absolument pas au courant de ce concert et pourtant elle lui écrit une longue lettre sur la 32ème sonate de Beethoven !!

La 32ème sonate de Beethoven fait partie des états de conscience de Bob et aussi des états de son inconscient. Sans recourir nécessairement à l’intrication quantique nous pouvons imaginer que les inconscients de Bob et d’Alice interagissent via l’échange de bosons virtuels (bosons qui sont les quanta d’un champ psychique). Ainsi des bosons virtuels transportant l’information “32ème sonate de Beethoven” vont exciter l’inconscient d’Alice, faisant passer cette information au niveau de son préconscient et ensuite, grâce à l’insight, à la conscience d’Alice. Et c’est ainsi qu’Alice écrit à Bob une longue lettre sur la 32ème sonate de Beethoven !

Ceci est une manière de voir les corrélations à distance qui se produisent entre différents psychismes.

Envisageons maintenant ces corrélations comme étant la conséquence du phénomène de l’intrication quantique.

### 8.2 Corrélation par intrication quantique

Lorsque Bob pense à la 32ème sonate de Beethoven, ou lorsqu’il a à gérer un problème concernant l’interprétation de cette sonate, son insight est dans un certain état quantique,  $|CI21\rangle$ . Cet état quantique est un état du préconscient qui fait passer à l’état de conscience l’information “32ème sonate de Beethoven”. Lorsqu’Alice décide d’écrire à Bob une lettre sur la 32ème sonate de Beethoven son insight est dans l’état quantique  $|CI11\rangle$ , lequel est le même que  $|CI21\rangle$ .

Lorsque deux jumeaux décident, sans s’être auparavant concertés, d’acheter pratiquement simultanément la même cravate, leurs insights respectifs sont aussi dans le même état quantique.

Nous pouvons donc imaginer que dans les cas qui viennent d’être décrits il y a une sorte de condensation de Bose-Einstein qui se produit au niveau des inconscients, ainsi qu’au niveau des insights<sup>9</sup>. Une partie de l’inconscient d’Alice se “condense” avec une partie de l’inconscient de Bob pour former une sorte d’inconscient groupal décrit par un seul état quantique. De même, une partie de l’insight d’Alice se “condense” avec une partie de l’insight de Bob pour former une sorte d’insight groupal décrit aussi par un seul état quantique. Il se produit une sorte de phénomène de coalescence, de superfluidité, ou encore de superconductivité, au niveau des inconscients et des insights.

Cependant, faisant passer continuellement des pensées différentes à l’état de conscience, l’insight change constamment d’état, comme le fait la conscience. Notre insight n’est donc pas constamment dans un état d’insight groupal. En fait, la plupart du temps, il est dans un état d’insight individuel. C’est la raison pour laquelle deux jumeaux, ou deux jumelles, ou deux membres d’un couple, ne sont pas constamment en train d’avoir les mêmes pensées. C’est aussi la raison pour laquelle les corrélations à distance ne se font pas nécessairement dans une exacte simultanéité. Alice n’a pas écrit sa lettre sur la 32ème sonate de Beethoven au moment précis où Bob pensait à cette sonate. Cela n’empêche pas qu’il y a une corrélation quantique entre leurs deux inconscients (formation d’un inconscient groupal) ainsi que la formation d’un insight groupal conduisant à une certaine forme de conscience groupale.

Le fait qu’il y ait formation d’un insight groupal sans pour autant qu’il y ait fusion totale entre les deux consciences peut être comparé à un superconducteur dans lequel un certain nombre d’électrons se lient pour former des paires de Cooper et constituer la partie superfluide (ou superconductrice) du système tandis qu’il reste des électrons “individuels” qui ne forment pas des paires de Cooper et constituent la composante “normale” du système. L’insight groupal serait ainsi associé à la composante “superfluide” du système tandis que l’insight individuel serait associé à la composante “normale” du système.

### 8.3 Le deuil et la corrélation entre Alice et Bob

Revenons au problème de Bob et du deuil qu’il doit faire (dû à la mort de son père). Pour résoudre ce problème supposons qu’il consulte une psychothérapeute, Alice.

L’état de l’inconscient de Bob lié à ce deuil est donné par la formule 31 ou 44. Au cours d’une séance d’analyse l’inconscient d’Alice va interagir avec la partie de l’inconscient de Bob lié au deuil pour former un état EPR donné par une formule analogue à la formule 27:

$$|CD1, CD2 \rangle = \sin\theta |CD10 \rangle |CD20 \rangle + \cos\theta e^{i\phi} |CD11 \rangle |CD21 \rangle \quad (45)$$

Ceci constitue une définition des états  $|CD10 \rangle$  et  $|CD11 \rangle$ , états de l’inconscient d’Alice intriqués avec les états de deuil de Bob. Grâce à cet état d’intrication quantique et à son insight, Alice peut prendre conscience des états de deuil de Bob. Ainsi en ce qui concerne Alice et la corrélation quantique de son inconscient avec celui de Bob nous avons un quadruplet EPR, analogue au triplet EPR 33:

$$|CD2, CD1, CI1, CC1 \rangle = \sin\theta |CD20 \rangle |CD10 \rangle |CI10 \rangle |CC10 \rangle$$

---

<sup>9</sup>Herbert Fröhlich [28] a proposé un modèle de condensation de Bose-Einstein dans les systèmes biologiques. Ce modèle a été repris par Ian Marshall [29] qui lui a donné un rôle essentiel dans l’activité du cerveau, un rôle permettant une activité globale du cerveau. Dans notre cas il s’agit d’une condensation de Bose-Einstein différente qui se situe au niveau des états mentaux inconscients et non au niveau des états physiques du cerveau.

$$+ \cos\theta e^{i\phi} |CD21\rangle + |CD11\rangle + |CI11\rangle + |CC11\rangle$$

dans lequel  $|CI1\rangle$  et  $|CC1\rangle$  sont respectivement les états de l'insight et de conscience d'Alice.  $|CI10\rangle$  et  $|CC10\rangle$  sont corrélés à l'état de deuil  $|CD20\rangle$  de Bob, et  $|CI11\rangle$  et  $|CC11\rangle$  sont corrélés à l'état de deuil  $|CD21\rangle$  (de Bob).

La matrice densité représentant l'état pur  $|CD2, CD1, CI1, CC1\rangle$  est

$$\rho_{CD2, CD1, CI1, CC1} = |CD2, CD1, CI1, CC1\rangle\langle CD2, CD1, CI1, CC1| \quad (46)$$

Comme nous l'avons fait pour Bob, suivant la méthode de Cerf et Adami, nous sommes sur les états inconscients  $|CD2, CD1\rangle$  auxquels Alice n'a pas accès et nous obtenons une matrice densité réduite:

$$\rho_{CI1, CC1} = Tr_{CD2, CD1}(\rho_{CD2, CD1, CI1, CC1}) \quad (47)$$

soit

$$\rho_{CI1, CC1} = \sin^2\theta |CI10\rangle\langle CI10| |CC10\rangle\langle CC10| + \cos^2\theta |CI11\rangle\langle CI11| |CC11\rangle\langle CC11| \quad (48)$$

qui est l'analogue de la matrice densité réduite 36.

Comme pour Bob, nous faisons donc apparaître une corrélation classique entre l'insight et les états de conscience d'Alice.

L'existence du quadruplet EPR  $|CD2, CD1, CI1, CC1\rangle$  permet à Alice de prendre conscience, à un moment ou à un autre, et en particulier au cours de la séance d'analyse, des états de deuil de l'inconscient de Bob. Comme pour Bob, la formule 48 donne les poids statistiques des pensées du type "Bob a réalisé son deuil" et "Bob n'a pas réalisé son deuil". Au cours de la séance d'analyse, selon les pensées qui parviennent à sa conscience (et même inconsciemment), Alice peut, par la parole, en actualiser certaines, ce qui pourra aider Bob à réaliser son deuil en faisant évoluer l'angle  $\theta$  dans le bon sens (de zéro vers  $\pi/2$ ).

L'état quantique de l'insight d'Alice,  $|CI10\rangle$ , état qui lui fait prendre conscience de son état inconscient  $|CD10\rangle$ , lequel est quantiquement corrélé à l'état  $|CD20\rangle$  de l'inconscient de Bob, est le même état quantique que celui de l'insight de Bob,  $|CI20\rangle$ , lequel fait prendre conscience à ce dernier son état inconscient  $|CD20\rangle$ . De même l'état quantique de l'insight d'Alice  $|CI11\rangle$  est le même que l'état quantique de l'insight de Bob  $|CI21\rangle$ . Nous pouvons donc définir des états quantiques de l'insight groupal d'Alice et Bob:

$$|CI0\rangle = |CI10\rangle + |CI20\rangle \quad (49)$$

et

$$|CI1\rangle = |CI11\rangle + |CI21\rangle \quad (50)$$

Nous pouvons aussi définir des états quantiques de l'inconscient groupal d'Alice et Bob lié au deuil de Bob:

$$|CD0 \rangle = |CD10 \rangle |CD20 \rangle \quad (51)$$

et

$$|CD1 \rangle = |CD11 \rangle |CD21 \rangle \quad (52)$$

Nous pouvons alors réécrire la formule 45 sous une forme groupale:

$$|CD \rangle = \sin\theta |CD0 \rangle + \cos\theta e^{i\phi} |CD1 \rangle \quad (53)$$

Nous pouvons de même définir des états quantiques de conscience groupale d'Alice et Bob:

$$|CC0 \rangle = |CC10 \rangle |CC20 \rangle \quad (54)$$

et

$$|CC1 \rangle = |CC11 \rangle |CC21 \rangle \quad (55)$$

et écrire un triplet EPR groupal analogue au triplet EPR 33:

$$|CD, CI, CC \rangle = \sin\theta |CD0 \rangle |CI0 \rangle |CC0 \rangle + \cos\theta e^{i\phi} |CD1 \rangle |CI1 \rangle |CC1 \rangle \quad (56)$$

En suivant la méthode de Cerf et Adami, tout ce qui a été écrit sur les matrices densités relatives à Bob et à Alice s'écrit rigoureusement de la même manière, mais de façon groupale.

Insistons une fois de plus sur le fait que les pensées qui parviennent à la conscience de Bob et d'Alice sont la plupart du temps des pensées individuelles, et que ce sont seulement de temps en temps des pensées groupales.

## 9 Modèle quantique du groupe

### 9.1 La dynamique groupale en tant qu'extension au groupe de la dynamique du deuil

W.R. Bion et S.H. Foulkes, deux psychanalystes, l'un élève de M. Klein, l'autre élève de Freud, ont travaillé et théorisé la dynamique groupale.

D'après *W.R. Bion le groupe est animé selon deux énoncés fondamentaux*:

Premier énoncé: la coopération consciente des membres du groupe, nécessaire à la réussite de leurs entreprises, requiert entre eux une circulation émotionnelle et fantasmatique inconsciente.

Deuxième énoncé: Les individus réunis dans un groupe se combinent de façon instantanée et involontaire pour agir selon des états affectifs dénommés «présupposés de base». A partir des «présupposés de base», et en contradiction avec, le travail de groupe, ancré dans la réalité, peut se développer.



Voici brièvement les «présupposés de base»:

**1- Dépendance:** le groupe demande à être protégé par le leader dont il se sent dépendre pour sa nourriture intellectuelle ou spirituelle. Il ne peut subsister sans conflit que si le leader accepte le rôle qu'on lui attribue, les pouvoirs, ainsi que les devoirs que cela implique. La dépendance répond à un rêve éternel des groupes: le rêve d'un leader intelligent, bon et fort, qui assume à leur place les responsabilités, en un mot le rêve du «leader omnipotent».

**2- Combat-fuite (fight-flight):** le refus du présupposé de dépendance au leader constitue un danger pour le groupe qui croit ne pas pouvoir survivre. En face du danger, les participants, en général, se réunissent soit pour lutter, soit pour fuir. En ce sens, l'attitude combat-fuite est un signe de solidarité du groupe.

**3- Couplage:** parfois l'attitude combat-fuite aboutit à la formation de sous-groupes ou de couples. Le couple représente un danger pour le groupe car il tend à former un sous-groupe indépendant.

**4- Attente messianique:** le couple, ou parfois le groupe entier, idéalisé, va donner naissance à un nouveau leader, parfait, bon, etc. Cette attente permet au groupe de projeter les sentiments négatifs (la désillusion, l'envie, la haine, la rivalité, ...) envers le leader, lequel n'a pas su être omnipotent (ces sentiments négatifs sont très souvent "déplacés" entre participants pour épargner le leader), dans un sentiment positif d'espoir dans le sauveur, qui, n'étant pas encore né, n'est qu'un danger lointain.

D'après S.H. Foulkes [30]: «*Le groupe se meut à son propre rythme gouverné par un ensemble de forces progressant et régressant, intégrant et séparant, s'opposant sans cesse à un changement et changeant sans cesse, jamais le même. - Vous ne pouvez marcher deux fois dans la même rivière car des eaux nouvelles coulent toujours sur vous - , disait Héraclite. Il en est de même avec le groupe, ce n'est jamais deux fois le même groupe en marche.*»

«Bion et Foulkes ont tous deux donné au groupe la métaphore de «matrice». Ils se concentrent sur la situation «d'ici et maintenant». Ils sont inspirés par la situation de transfert et contre-transfert en psychanalyse. Ils détectent les conflits inhérents au groupe et soulignent l'impact des résistances contre le changement du statu quo.

Tous deux considèrent que le thérapeute fait partie de l'ensemble du groupe et croient en la valeur thérapeutique par le groupe. Tous deux croient en la valeur de l'apprentissage par l'expérience. Ils croient «qu'il est absolument impossible pour l'individu dans un groupe de ne «rien faire» même en ne faisant rien.» (extraits de la référence [30])

Les présupposés dont nous avons parlé auparavant (dépendance, combat-fuite, couplage et attente messianique) n'apparaissent pas en même temps. L'un prédomine et masque ainsi les autres qui subsistent néanmoins en puissance. En ôtant son poids actuel au présupposé de base dominant, l'interprétation en libère du même coup un autre et permet au groupe de fonctionner différemment.

Le point central de notre parallèle entre phénomène de deuil et dynamique groupale réside dans l'observation que, comme tout individu, le groupe réagit à une perte. En d'autres termes, à travers les présupposés de base, la dynamique groupale est analogue à la dynamique du deuil individuel.

La dépendance répond au rêve de tout individu à se faire protéger par un leader intelligent, bon, fort, tout puissant. Le refus, l'impossibilité du leader, ou la constatation que ce leader n'est pas tout puissant, représente une perte pour le groupe, perte superposable à l'expérience du deuil chez l'individu.

La désidéalisée du leader correspond à sa mort, démonstration ultime de son incapacité,

de sa méchanceté et de sa faiblesse. Le groupe, comme l'individu qui croît ne pas pouvoir survivre, réagit soit par la lutte, soit par la fuite, soit il s'accouple pour engendrer un autre leader.

La dépendance à un leader tout puissant est donc suivie nécessairement de la perte de cette illusion de protection, et ensuite d'une tentative de réparation à travers des phénomènes de combat-fuite, de couplage, et finalement d'espoir messianique. Cette phase est celle du déni et de la rébellion devant la perte. Suit une période de tristesse, phase dépressive à laquelle fait suite l'acceptation de la perte.

De manière analogue à ce qui a été fait dans les deux sections précédentes, en considérant Bob, puis Alice et Bob, face au phénomène du deuil, nous pouvons, dans une situation groupale, confronter le groupe à une situation de choix comparable à celle du deuil: «le leader est bon/vivant» versus «le leader est mauvais/mort».

De plus, de manière analogue à la définition des pointer-states  $|CD21\rangle$  et  $|CD20\rangle$  précédemment donnée, et comme nous l'avons fait pour l'inconscient de Bob (C2), et pour l'inconscient d'Alice et de Bob (C1,C2), considérons l'espace de Hilbert produit tensoriel des différents espaces de Hilbert correspondant aux composantes de l'inconscient de Bob, mais aussi à celles de l'inconscient d'Alice et à toutes celles des inconscients d'autres participants à une situation groupale: Pierre, Paul, Matthias, John, Sandra, ...

Dans cet espace de Hilbert, de manière analogue à ce qui a été fait dans la sous-section 7.1, nous pouvons écrire l'état quantique du groupe lié au deuil (du leader) sous la forme:

$$|CBob, CAlice, CPierre, CPaul, CMatthias, CJohn, CSandra, \dots\rangle = \sin\theta|CBob0, CAlice0, CPierre0, CPaul0, CMatthias0, CJohn0, CSandra0, \dots\rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CBob1, CAlice1, CPierre1, CPaul1, CMatthias1, CJohn1, CSandra1, \dots\rangle$$

ce que nous réécrivons, en définissant:

$$|CDgroupe\rangle = |CBob, CAlice, CPierre, CPaul, CMatthias, CJohn, CSandra, \dots\rangle,$$

$$|CDgroupe0\rangle = |CBob0, CAlice0, CPierre0, CPaul0, CMatthias0, CJohn0, CSandra0, \dots\rangle,$$

et

$$|CDgroupe1\rangle = |CBob1, CAlice1, CPierre1, CPaul1, CMatthias1, CJohn1, CSandra1, \dots\rangle,$$

$$|CDgroupe\rangle = \sin\theta|CDgroupe0\rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CDgroupe1\rangle \quad (57)$$

Cette formule est analogue aux formules 31 et 44.

Nous avons ainsi construit la partie de l'inconscient du groupe lié au deuil du leader à partir de l'influence sur ce deuil de chacun des inconscients des participants du groupe.

$|CDgroupe\rangle$  est l'état quantique groupal qui se crée à partir des différents inconscients individuels du groupe. Cet état groupal peut être comparé à un condensat de Bose-Einstein, dans le sens où la situation groupale pourrait faire en sorte qu'une grande majorité des inconscients du groupe se trouvent dans le même état quantique, comme nous en avons discuté dans la section 8.2 à propos d'Alice et Bob. Cet état quantique groupal serait un état de basse

énergie, proche de l'état fondamental. Nous pouvons aussi considérer l'image des inconscients individuels qui auraient tendance à "s'orienter" de manière homogène.

Nous supposons maintenant la formation d'un triplet EPR composé de  $|CDgroupe\rangle$ ,  $|CIgroupe\rangle$  et  $|CCgroupe\rangle$ .  $|CIgroupe\rangle$  est l'insight du groupe. C'est une entité préconsciente. Cet insight du groupe est analogue à l'insight groupal de Bob et d'Alice défini en 49 et 50. L'insight fixe la conscience sur des pointer-states qui ont une entropie minimum d'interaction avec l'environnement, par exemple: "pour ou contre une affirmation", "droite ou gauche", "bas ou haut". Dans de telles situations, où deux possibilités sont présentées à la conscience, et donc peuvent être présentes en même temps, nous aboutissons à un ensemble statistique constitué par une série de résultats.

$|CCgroupe\rangle$  désigne l'état quantique de la conscience groupale. Cette conscience groupale est analogue à la conscience groupale d'Alice et Bob telle qu'elle a été définie en 54 et 55.

Puisque la formule 57 est l'analogue des formules 31 et 44 nous supposons ici que la procédure de prise de conscience par le groupe de la non omnipotence du leader est analogue à la procédure de prise de conscience de la perte de son père de la part de Bob pour arriver à faire son deuil.

Comme la conscience de Bob, la conscience groupale (état  $|CCgroupe\rangle$  ou  $|CCg\rangle$ ) se couple à la partie de l'inconscient groupal concernant le deuil ( $|CDgroupe\rangle$  ou  $|CDg\rangle$ ) par l'intermédiaire de "l'insight" groupal ( $|CIgroupe\rangle$  ou  $|CIg\rangle$ ) préconscient, lequel fait passer un élément de l'inconscient à la conscience.

Nous avons donc la formation d'un triplet EPR analogues aux triplets EPR 33 et 56

$$|CDg, CIg, CCg\rangle = \sin\theta|CDg0\rangle|CIg0\rangle|CCg0\rangle + \cos\theta e^{i\phi}|CDg1\rangle|CIg1\rangle|CCg1\rangle \quad (58)$$

Suivant toujours la méthode de Cerf et Adami, nous sommes sur les états inconscients du deuil,  $|CDgroupe\rangle$  ou  $|CDg\rangle$ , auxquels le groupe n'a pas accès, ce qui nous conduit à une corrélation classique entre l'insight et les états de conscience du groupe. Nous obtenons ainsi la matrice densité réduite:

$$\rho_{CIg, CCg} = \sin^2\theta|CIg0\rangle\langle CIg0||CCg0\rangle\langle CCg0| + \cos^2\theta|CIg1\rangle\langle CIg1||CCg1\rangle\langle CCg1| \quad (59)$$

L'entropie de von Neumann du système (CIgroupe, CCgroupe) est positive:

$$S(CIgroupe, CCgroupe) = -(\sin^2\theta \log(\sin^2\theta) + \cos^2\theta \log(\cos^2\theta)) \quad (60)$$

En utilisant les formules 38 et 39 nous pouvons définir  $S(CDgroupe|CIgroupe, CCgroupe)$ , l'entropie conditionnelle de l'inconscient du groupe,  $|CDgroupe\rangle$  ou  $|CDg\rangle$ , connaissant le système constitué par l'insight et la conscience du groupe: (CIgroupe, CCgroupe). Cette entropie conditionnelle est négative:

$$S(CDg|CIg, CCg) = -S(CIg, CCg) = \sin^2\theta \log(\sin^2\theta) + \cos^2\theta \log(\cos^2\theta) \quad (61)$$

Lorsque, selon le modèle de Cerf et Adami, nous avons pris la trace suivant les degrés de liberté de l'inconscient groupal, nous avons obtenu une matrice densité réduite qui décrit une corrélation classique entre l'appareil de mesure, l'insight groupal, et l'appareil d'observation,

la conscience groupale. Cette corrélation classique, représentée par un mélange statistique, est censée décrire l'objet quantique (l'inconscient groupal) qui est, et reste, non-connaissable directement. Remarquons que dans le modèle de la décohérence quantique [2] nous prenons la trace sur les degrés de liberté de l'environnement corrélés quantiquement à l'appareil de mesure et à l'objet quantique observé.

Le mélange statistique, qui est un mélange des pointer-states, lesquels correspondent à une certaine réalité du monde classique que le groupe perçoit, peut nous permettre d'apprécier, quoique, nous le répétons, de manière indirecte, le fonctionnement du groupe face, par exemple, à une question posée. Si la question posée est de l'ordre du conscient, c'est-à-dire est une question de type "classique", dont la réponse demande une réflexion consciente, nous resterons dans le domaine du conscient individuel "multiplié" par le nombre de participants du groupe, comme nous le sommes dans un vote au parlement (où nous acceptons de voter sur les décisions "seulement rationnelles" des parlementaires).

Une possibilité d'apprécier le fonctionnement groupal inconscient, bien que, comme nous l'avons dit, indirecte, à travers la corrélation entre Insight groupal et Conscience groupale, est de proposer des questionnaires "absurdes" à différents moments d'une expérience groupale, en privilégiant une situation où les échanges du groupe avec l'environnement soient le plus possible réduits, où le nombre des participants et les lieux soient constants et les arguments des échanges entre participants non prédéterminés, tout en gardant des conditions éthiquement correctes et en sauvegardant le confort des participants.

## 9.2 Esquisse d'une expérience pour mesurer l'orientation de l'inconscient groupal

Comme nous venons de le dire, il serait possible d'étudier l'orientation des réponses à un questionnaire de l'absurde (basé sur un choix de deux réponses pour chaque question), à travers une expérience groupale étalée sur un certain nombre de jours où les participants travailleraient dans des petits et des grands groupes (dix participants environ pour les petits groupes, une trentaine pour les grands groupes). Ils travailleraient sur des groupes de théorie et sur des groupes de réflexion, de manière analogue, par exemple, à ce qui se passe dans les formations à la dynamique groupale réservées aux travailleurs de la santé mentale ou aux travailleurs sociaux.

L'intérêt de l'utilisation de questionnaires absurdes est qu'ils devraient être le moins possible sensibles aux stimuli rationnels, comme par exemple les nouvelles des médias, les événements culturels ou politiques, ou même les cours théoriques donnés pendant la formation.

Il serait éthiquement non acceptable, très peu confortable, et en tout cas presque impossible, d'isoler complètement les participants pendant la durée de l'expérience. De plus, une telle situation artificielle risquerait d'introduire des biais importants liés à l'état de contrainte du groupe.

Des questionnaires pourraient être proposés aux participants le matin, avant la réunion du premier groupe, et le soir, après la réunion du grand groupe qui clôture la journée de travail, et ceci, chaque jour, pendant toute la durée de la formation.

Dans un premier essai, nous pourrions nous limiter à une session de formation, car la présence de plusieurs stimuli environnementaux d'une session à l'autre pourrait trop perturber la matrice groupale.

Les questionnaires absurdes, complètement anonymes, devraient avoir un ordre des questions variable de manière à éviter des phénomènes de mémorisation et/ou d'apprentissage et nous pourrions cibler sur un questionnaire de cinquante questions à remplir en trois minutes,

sans correction possible. Pour des raisons éthiques, une présentation de l'expérience et un consentement écrit des participants, ainsi que des informations écrites seront indispensables avant la première "expérience".

## 10 Conclusions

L'expérience du choix retardé du photon montre qu'un acte effectué par un être humain (en l'occurrence dans cette expérience un physicien) dans le présent peut avoir pour conséquence un effondrement de la fonction d'onde qui peut remonter loin dans le passé. Cet effondrement est global et non local. Cet effondrement est inévitable lorsque nous reconstruisons un phénomène quantique en temps classique. Cependant cela demeure une illusion classique. Ceci constitue la raison pour laquelle les phénomènes de synchronicité peuvent être envisagés comme des phénomènes quantiques. Non seulement les actes ou les choix que nous effectuons déterminent la vision que nous avons du monde qui nous entoure, mais en ayant des conséquences dans le passé (par l'intermédiaire de l'effondrement de la fonction d'onde), ils peuvent expliquer les phénomènes de synchronicité dans lesquels un état mental (subjectif) est en coïncidence significative avec un événement survenant dans le monde extérieur (objectif). Cet effondrement global dans le temps pourrait ainsi expliquer l'apparente a-causalité classique de ces phénomènes. Remarquons que ces effets font partie de l'aspect actif de la conscience.

Nous plaçant résolument dans une perspective dualiste de l'esprit et de la matière (tout en tenant compte des corrélations entre les états mentaux et les états physiques du cerveau) nous nous sommes intéressés au phénomène de l'intrication quantique entre différents états mentaux, produits des psychismes de différentes personnes. Cette intrication quantique entre états mentaux permet d'expliquer les corrélations à distance entre différentes personnes.

Considérant différents modèles de la mesure en mécanique quantique il nous est apparu que dans le cas de prise de conscience (conscience passive), par exemple la prise de conscience d'un état mental quantiquement intriqué, les modèles comme celui de Cerf et Adami (modèle avec entropie conditionnelle négative) sont extrêmement intéressants car ils permettent de préserver les états mentaux quantiquement intriqués et les états inconscients.

Nous avons appliqué cela au processus psychologique du deuil. Nous avons modélisé la prise de conscience d'éléments de l'inconscient lié à un deuil dans le cas où la personne seule fait son deuil, ainsi que dans le cas où elle reçoit l'aide d'un (ou d'une) psychothérapeute. Dans ce dernier cas il y a intrication quantique entre l'inconscient du patient et celui du (ou de la) psychothérapeute. Il y a alors formation d'un inconscient groupal, ainsi que formation d'un insight (ancilla) groupal, et même formation d'une certaine forme de conscience groupale. Nous avons envisagé comment l'inconscient lié au deuil pouvait évoluer unitairement en fonction du temps psychologique permettant ainsi au deuil de se réaliser, ou de ne pas se réaliser dans les cas pathologiques.

Nous avons ensuite généralisé tout cela aux phénomènes groupaux qui se manifestent lors de thérapies ou de formations groupales. Comme dans le cas d'un couple nous avons formation d'un inconscient groupal, ainsi que celle d'un insight (ancilla) groupal, et même celle d'une certaine forme de conscience groupale. Nous avons proposé des expériences permettant de mettre en évidence des corrélations entre membres d'un groupe ou de plusieurs groupes, résultant de la formation d'un inconscient et d'une ancilla-insight groupaux. Remarquons que les corrélations à distance et les effets de synchronicité sont des phénomènes bien connus qui arrivent systématiquement entre petits groupes dans les séances de thérapie de groupe ou de

formation groupale. Ces phénomènes étant reproductibles, contrairement aux corrélations à distance entre deux individus ou aux phénomènes de synchronicité individuels, ils peuvent être étudiés scientifiquement à travers des études statistiques.

## 11 Remerciements

François Martin remercie Patrick Aurenche, Alain Connes et Benoît Douçot pour des discussions extrêmement fructueuses. Nous remercions également Federico Carminati pour sa collaboration à la rédaction de l'article.

## References

- [1] J. von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer Verlag, Berlin (1932); traduction anglaise: *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press (1955).
- [2] W.H. Zurek, *Pointer basis of quantum apparatus: into what mixture does the wave packet collapse?*, Phys. Rev. D **24**, 1516 (1981); *Decoherence and the transition from quantum to classical*, Phys. Today **44** (10), 36 (1991).
- [3] H. Everett, “*Relative State*” *formulation of Quantum Mechanics*, Rev. Mod. Phys. **29**, 454 (1957); J. A. Wheeler, *Assessment of Everett’s “Relative State” formulation of Quantum Theory*, Rev. Mod. Phys. **29**, 463 (1957).
- [4] N.J. Cerf and C. Adami, *Quantum mechanics of measurement*, arXiv:quant-ph/9605002 v2 (1997).
- [5] E.P. Wigner, *Remarks on the mind-body question*, in *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, Bloomington, pp. 171-184 (1967).
- [6] H.P. Stapp, *A quantum theory of the mind-brain interface*, in *Mind, Matter, and Quantum Mechanics*, Springer, Berlin, pp. 145-172 (1993).
- [7] L.M. Ricciardi et H. Umezawa, *Brain and physics of many-body problems*, Kybernetik, **4**, pp. 44-48 (1967).
- [8] B.E. Baaquie et F. Martin, *Quantum Psyche - Quantum Field Theory of the Human Psyche*, NeuroQuantology, **3**, 1, pp. 7-42 (2005).

- [9] C.G. Jung and W. Pauli, *The Interpretation of Nature and the Psyche*, Pantheon, New York, translated by P. Silz (1955); german original: *Natureklärung und Psyche*, Rascher, Zürich (1952).
- [10] C.A. Meier, ed., *Atom and Archetype: The Pauli/Jung Letters 1932-1958*, Princeton University Press, Princeton (2001); traduction française: *Correspondance 1932-1958*, ed. Albin Michel (2000).
- [11] H. Atmanspacher et H. Primas, *The hidden side of Wolfgang Pauli*, Journal of Consciousness Studies, **3**, pp. 112-126 (1996).
- [12] H. Atmanspacher, *Quantum Approaches to Consciousness*, Stanford Encyclopedia of Philosophy, lien: <http://plato.stanford.edu/entries/qt-consciousness/> (2006).
- [13] F. Beck et J. Eccles, *Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, **89**, pp. 11357-11361 (1992).
- [14] R. Penrose, *The Emperor's New Mind and Shadow's of the Mind*, Oxford University Press, Oxford (1989) and (1994).
- [15] S.R. Hameroff and R. Penrose, *Conscious events as orchestrated spacetime selections*, Journal of Consciousness Studies, **3**, 1, pp. 36-53 (1996).
- [16] A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Phys. Rev. **47**, 777 (1935).
- [17] J.S. Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, Physics, **1**, 195 (1964); *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge (1987).
- [18] A. Aspect, P. Grangier and G. Rogier, *Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem*, Phys. Rev. Lett. **47**, 460 (1981).
- [19] J.A. Wheeler in *Mathematical Foundations of Quantum Theory*, edited by A. R. Marlow, Academic, New York, p. 9 (1978).
- [20] T. Hellmuth et al., *Delayed-choice experiments in quantum interference*, Phys. Rev. A, **35**, n. 6, p. 2532, (1987).
- [21] A. Suarez, Science et Vie, n. 1024, p. 43, janvier 2003.
- [22] R. Streater, *Locality in the EPR experiment*,  
<http://www.mth.kcl.ac.uk/streater/EPR.html>
- [23] N.J. Cerf and C. Adami, *What Information Theory can tell us about Quantum Reality*, arXiv:quant-ph/9806047v1 (14 Jun 1998).
- [24] D.G. Chakalov, QUANTUM MIND Archives – August 1998, n. 64,  
<http://listserv.arizona.edu/archives/quantum-mind.html>
- [25] M. Pitkanen, QUANTUM MIND Archives – August 1998, n. 88,  
<http://listserv.arizona.edu/archives/quantum-mind.html>

- [26] G. Galli Carminati and F. Carminati, *The mechanism of mourning: an anti-entropic mechanism*, NeuroQuantology Journal, **4**, n. 2, pp. 186-197 (2006).
- [27] B. Libet, *Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action*, Behavioural and Brain Sciences, **8**, pp. 529-566 (1985).
- [28] H. Fröhlich, *Long-range coherence and energy storage in biological systems*, International Journal of Quantum Chemistry, **2**, pp. 641-649 (1968).
- [29] I.N. Marshall, *Consciousness and Bose-Einstein condensates*, New Ideas in Psychology, **7**, pp. 73-83 (1989).
- [30] T. Vergopoulo, *La sensibilisation à la dynamique de groupe d'après W.R. Bion et S.H. Foulkes*, Médecine et Hygiène, **41**, pp. 3149-3155 (1983).