

L'homéopathie confrontée à la physique

Homeopathy confronted to physics

Alain Bonnier

Volume 43, Number 2, 2014

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1061189ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1061189ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Revue de Psychoéducation

ISSN

1713-1782 (print)

2371-6053 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Bonnier, A. (2014). L'homéopathie confrontée à la physique. *Revue de psychoéducation*, 43(2), 387–419. <https://doi.org/10.7202/1061189ar>

Article abstract

Calculation of the *characteristic action* of homeopathic preparation indicates that this *action* is situated out of the *quantum domain* as defined by Planck constant. Therefore, quantum physics cannot be applied to homeopathy. Furthermore, calculation of the *increase of entropy* resulting from homeopathic dilution and succussion indicates that these processes have the effect of erasing part of the *molecular information*. Therefore, these processes do the exact opposite of inscribing information in homeopathic solution.

Controverse

L'homéopathie confrontée à la physique.

Homeopathy confronted to physics.

A. Bonnier¹

¹ Alain Bonnier œuvre dans le domaine de la recherche scientifique depuis 1968. Détenteur d'un doctorat en physique, il a travaillé à l'*INRS-Énergie* sur des projets de production d'énergie par fusion thermonucléaire. Il a ensuite travaillé chez *RCA* au développement de lasers de grande puissance, avant de fonder sa propre entreprise spécialisée en R&D, *Informatique BIT R&D*. Il a été président des *Sceptiques du Québec* durant quelques années. Il travaille aujourd'hui comme consultant scientifique en R&D auprès d'entreprises et donne des conférences en science à l'*UTA* de l'*Université de Sherbrooke*.

Résumé

Le calcul de l'action caractéristique d'une préparation homéopathique indique que cette action se situe hors du domaine quantique tel que défini par la constante de Planck. Par conséquent, la physique quantique ne saurait s'appliquer à l'homéopathie. Par ailleurs, le calcul de l'augmentation d'entropie résultant de la dilution et de la succussion homéopathiques indique que ces procédés ont pour effet d'effacer une partie de l'information moléculaire. Par conséquent, ces procédés font exactement l'opposé d'inscrire une information dans une solution homéopathique.

Mots-clés : homéopathie, dilution, succussion, physique quantique, action, entropie, théorie de l'information, message, mémoire de l'eau.

Abstract

Calculation of the characteristic action of homeopathic preparation indicates that this action is situated out of the quantum domain as defined by Planck constant. Therefore, quantum physics cannot be applied to homeopathy. Furthermore, calculation of the increase of entropy resulting from homeopathic dilution and succussion indicates that these processes have the effect of erasing part of the molecular information. Therefore, these processes do the exact opposite of inscribing information in homeopathic solution


Keywords: homeopathy, dilution, succussion, quantum physics, action, entropy, information theory, message, water memory.

Correspondance :

AlainBonnier@videotron.ca

NDLR : Si la lecture du texte de Bonnier vous confronte à la limite de vos connaissances en physique quantique — ce qui somme toute tombe sous le sens puisque votre formation est en sciences humaines — l'objectif est atteint. Vous êtes dès lors vacciné contre les infections pseudoscientifiques qui envahissent l'univers psychosocial et dont leurs adeptes se gargarisent de concepts empruntés aux sciences dures sans en maîtriser la teneur.

Mode d'emploi

Ce texte comporte deux niveaux de lecture^[2]. Au premier niveau, les faits sont présentés sans équations, avec des notions de physique réduites au minimum. Il constitue le corps du texte. Au deuxième niveau, les faits sont présentés d'une façon quantitative en faisant appel à des calculs élémentaires (ne dépassant pas le niveau mathématique du secondaire). Ce texte de deuxième niveau apparaît dans des encadrés sur fond gris qui présentent dans le coin supérieur gauche le symbole : . Le lecteur peu familier avec la physique ou le langage mathématique pourra sauter ces encadrés et quand même se faire une bonne idée de l'argumentation présentée ici. Ils manqueront cependant la partie essentielle de la démonstration qui ne peut qu'être quantitative pour être vraiment convaincante. J'invite donc ce lecteur à faire malgré tout l'effort d'aller visiter ces encadrés, (muni d'une calculatrice scientifique s'il veut vérifier les calculs). Il y trouvera de beaux exemples d'un raisonnement quantitatif à *la physicienne* et des méthodes de calcul fort utiles pour l'appréhension quantitative de la réalité.

Cette absence de familiarisation avec le quantitatif scientifique — qu'on pourrait qualifier *d'analphabétisme mathématico-scientifique*, à défaut d'un meilleur mot — est fort répandue, hélas, dans nos sociétés supposément technologiques. Elle rend l'individu facilement perméable aux allégations de toutes sortes. Et elle fait l'affaire de toutes les fumisteries pseudo-scientifiques (telles l'homéopathie ou l'astrologie) qui peuvent ainsi facilement perdurer dans l'ombre de cette ignorance. Samuel Hahnemann, fondateur de l'homéopathie, se méfiait d'ailleurs, comme de la peste, de ceux qu'il appelait dédaigneusement, les *arithméticiens*... — (Hahnemann, 1827).

Cette forme d'analphabétisme serait d'ailleurs un beau thème à traiter dans une revue de sciences humaines et réactualiserait en même temps les travaux de Piaget sur le développement de la pensée formelle. J'en fais donc la suggestion à M. Serge Larivée, directeur de la *Revue de psychoéducation*, que je remercie, en passant, de m'avoir invité à présenter le texte que voici.

^[2] Cette idée de présenter un texte scientifique à deux niveaux, a été empruntée de l'astrophysicien Hubert Reeves qui l'emploie dans ceux de ses livres s'adressant à un public non spécialisé.

PREMIÈRE PARTIE

L'homéopathie ... quantique ?

ou

Pourquoi la physique quantique ne saurait s'appliquer à l'homéopathie

Une anecdote révélatrice est rapportée par le D^r René-Philippe Halm^[3]. Ça se serait passé lors du dernier congrès de la *Ligue homéopathique internationale* à Berlin. Une participante se lève et pose la question suivante : « *Pourquoi accordez-vous tant d'importance aux vieux principes de l'homéopathie alors que partout ici, on ne parle plus que de l'application de la physique quantique pour expliquer l'homéopathie ?* » (Halm, 2011, p.13)

La question est lancée : L'homéopathie trouvera-t-elle enfin son explication scientifique dans les arcanes de la physique quantique ?

Cette quête incessante d'une quelconque légitimité scientifique s'inscrit d'ailleurs dans la plus pure tradition homéopathique. Elle remonte à plus de deux siècles avec Hahnemann et consiste à s'accrocher comme à une bouée de sauvetage aux dernières avancées de la physique. Toutes les théories physiques ont ainsi été appelées en renfort au fil des ans : la thermodynamique, le magnétisme, l'électromagnétisme, l'atomisme et, les dernières en date, la chaotique et la physique quantique. Et bientôt, tenez-vous bien, ce sera la *théorie des supercordes* ! Mais ces tentatives, jusqu'ici, ont toutes été vaines.

Bien qu'homéopathe lui-même, le D^r Halm a eu comme un doute sur le bien- fondé de toutes ces références à la physique quantique :

« En ce qui concerne la physique quantique, dit-il, nous avons assisté et assistons encore à un même type de raisonnement analogique qui, rappelons-le, n'est pas un raisonnement scientifique.

N'étant pas un grand spécialiste de la physique quantique, nous nous sommes permis de solliciter le plus renommé des physiciens quantiques en France, à qui nous avons envoyé toute la littérature concernant les amalgames physique quantique et homéopathie. Voici la réponse du Professeur Levy-Leblond : » (p.13)

« Monsieur le secrétaire général,

J'ai lu avec beaucoup d'intérêt et un mélange d'amusement et d'irritation les articles que vous m'avez adressés.

Je ne peux que vous confirmer que vos craintes sont absolument fondées, et que ces articles n'ont aucune valeur scientifique sérieuse. Les références

^[3] Le D^r René-Philippe Halm est Secrétaire général des *Entretiens de Monaco* (consacrés aux « thérapeutiques complémentaires ou alternatives ») et Membre fondateur du GIRI (*Groupe International de Recherche sur l'Infinitésimal*).

à la théorie quantique sont ici purement rhétoriques et, au surplus, reposent sur une présentation déjà ancienne et dépassée des idées de base.

Le plus irritant sans doute est que les auteurs prétendent n'avancer qu'une métaphore qualitative, ce qui après tout serait admissible (mais ne vaudrait certainement pas une publication dans une revue professionnelle), alors que toutes les stratégies discursives visent au contraire à faire prendre au sérieux les explications, en demandant à la physique de les cautionner par un pur argument d'autorité. » (p.13)

S'adressant à ses confrères homéopathes, le Dr Halm conclut : « *Le bon sens n'est-il pas de laisser les vrais spécialistes parler de ce qu'ils connaissent ? Et si l'on a une intuition, d'aller consulter avant d'écrire n'importe quoi ?* » (p.14)

Le domaine quantique

Mais le Professeur Lévy-Leblond aurait pu aller plus loin en expliquant pourquoi l'homéopathie telle qu'elle se définit avec ses dilutions extrêmes et ses succussions « dynamisantes », se situe carrément en dehors du *domaine quantique*. En d'autres mots, si l'homéopathie fonctionne, l'explication ne saurait venir de la physique quantique. Pourquoi ?

Pour répondre à cette question, il faut d'abord définir ce qu'on entend par « *domaine quantique* ». C'est justement là le titre du Chapitre 1 de « *Quantique : Rudiments* », le manuel d'introduction à la physique quantique du Professeur Lévy-Leblond (1984). Celui-ci s'y applique à déterminer les limites au delà desquelles les théories classiques sont inaptes à rendre compte des effets typiquement quantiques et où le recours à la théorie quantique devient nécessaire.

La constante de Planck \hbar est la grandeur physique au cœur de cette définition. Elle a la dimension d'une grandeur appelée « *action* », en physique. À ce titre, la constante de Planck est l'étalon naturel de toute *action caractéristique* d'un système physique. On trouvera à l'Encadré 1 une définition quantitative de cette constante physique fondamentale.

Encadré 1



La constante de Planck

La *constante de Planck* \hbar (on dit « hache-barre ») caractérise entièrement la physique quantique. Sa valeur *normalisée* :

$$\hbar = 1,05 \times 10^{-34} \text{ joule-seconde}^{[4]}$$

a la dimension d'une masse \mathcal{M} multipliée par une longueur \mathcal{L} au carré, divisée par un temps \mathcal{T} , soit $\mathcal{M}\mathcal{L}^2/\mathcal{T}$. Ce qui correspond à la dimension d'une grandeur appelée « *action* », en physique^[5]. À ce titre, la *constante de Planck* est l'étalon naturel de toute *action caractéristique* d'un système physique.

Qu'est-ce qu'une *action* ? Malheureusement, cette grandeur physique n'a pas un sens intuitif aussi évident que celui de *vitesse* ou de *masse*, par exemple, ou même d'*énergie*. Comme elle s'exprime en joule-seconde (symbole : J-s), on peut la définir comme l'*action* d'une *énergie* E qui s'exerce pendant un certain temps Δt . Mais on peut la définir aussi comme l'*action* d'une *impulsion* p qui s'exerce sur une certaine distance Δx .

La constante h a été introduite par Max Planck (1900) quand il a découvert en étudiant le rayonnement du *corps noir* que la lumière de fréquence f était émise non pas de façon continue mais de façon discrète, par *paquets d'énergie* $E = hf$, appelés *quanta*. (On utilise plus couramment aujourd'hui sa valeur *normalisée* $\hbar = h/2\pi$.) Cette découverte a jeté les bases de la physique quantique.

Le premier rôle de la constante de Planck est de délimiter le domaine de validité des théories classiques. Ces théories se sont développées avant 1900, alors qu'on ignorait la valeur de \hbar . Elles décrivent un monde comme si la constante de Planck était nulle. Mais si petite soit-elle, cette valeur non-nulle de \hbar change tout. Elle apparaît dans toutes les manifestations des phénomènes typiquement quantiques (structure électronique de l'atome, quantification de l'énergie, distribution spectrale du corps noir, effet photoélectrique, dualisme onde-particule, spin des quantons,

^[4] En physique on rencontre souvent de très grands ou de très petits nombres qu'il est malaisé d'exprimer avec la notation habituelle. On emploie plutôt dans ce cas la notation scientifique qui a la forme plus compacte $N = Y \times 10^x$ où Y est un nombre compris entre 1,00 et 9,99..., et où x est un exposant de 10. Par exemple, 7 000 000 000 s'écrira 7×10^9 . Alors que pour les nombres plus petits que 1, l'exposant est négatif. Par exemple, 0,000 000 004, s'écrira : 4×10^{-9} . Ce qui nous évite d'écrire la constante de Planck comme étant

$$\hbar = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 105 \text{ joule-seconde} \dots$$

^[5] Toute grandeur physique peut s'exprimer sous forme d'une *combinaison* de grandeurs physiques fondamentales telles que la *masse* \mathcal{M} , la *longueur* \mathcal{L} , le *temps* \mathcal{T} , la *charge* \mathcal{Q} , la *température* \mathcal{K} , etc. C'est cette *combinaison* qu'on appelle la *dimension* d'une *grandeur physique*. Par exemple, la *dimension* d'une *vitesse* est \mathcal{L}/\mathcal{T} , celle d'une *force* est $\mathcal{M}\mathcal{L}/\mathcal{T}^2$, celle d'une *énergie* est $\mathcal{M}\mathcal{L}^2/\mathcal{T}^2$, celle d'un *courant électrique* est \mathcal{Q}/\mathcal{T} , celle d'une *entropie* est $\mathcal{M}\mathcal{L}^2/\mathcal{T}^2\mathcal{K}$, etc. La *dimension* qui nous intéresse ici, celle d'une *action*, est $\mathcal{M}\mathcal{L}^2/\mathcal{T}$.

effet *tunnel*, intrication des amplitudes quantiques, décohérence de phase de l'onde quantique, fluctuation du vide, etc.) et dans toutes les équations fondamentales de la théorie. Dont on trouvera quelques exemples à l'Encadré 2.

Encadré 2



Quelques équations fondamentales de la physique quantique montrant l'omniprésence de la constante de Planck \hbar

Note : Il n'est pas nécessaire de comprendre toutes ces équations pour comprendre la suite du texte ! Le but ici est plutôt de montrer le formalisme mathématique de la théorie quantique et le rôle clé qu'y joue la constante de Planck \hbar . Dans un univers où \hbar serait égal à zéro, toutes ces équations s'annuleraient et il n'y aurait pas de physique quantique. De même, quand l'*action caractéristique* d'un système est très grande par rapport à \hbar , ces équations s'annulent à toute fin pratique. Elles ne sont alors d'aucune utilité pour décrire ce système et aucun effet quantique ne peut y être observé.

le quantum de Planck-Einstein :	$E = \hbar\omega$
la longueur d'onde de de Broglie :	$\lambda = 2\pi\hbar / p$
le spin de l'électron :	$\frac{1}{2}\hbar$
le rayon de Bohr :	$r = \hbar^2 / me^2$
les inégalités d'Heisenberg :	$\begin{cases} \Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar \\ \Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar \\ \Delta J \cdot \Delta \varphi \geq \hbar \end{cases}$
la distribution spectrale du corps noir :	$\rho_T(\lambda) = \frac{16\pi^2\hbar c}{\lambda^5} \frac{1}{e^{2\pi\hbar c/\lambda kT} - 1}$
l'effet photoélectrique :	$E_{max} = \hbar\omega - W$
l'effet <i>tunnel</i> :	$P_s = \phi_0 ^2 e^{-2ps/\hbar}$
l'opérateur <i>moment cinétique</i> :	$\widehat{J}_z \psi_0\rangle = m\hbar \psi_0\rangle$
l'équation de Schrödinger :	$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$
l'équation d'Hamilton :	$i\hbar \frac{dC_i(t)}{dt} = \sum_j H_{ij}(t)C_j(t)$
l'équation de Dirac :	$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\hbar c}{i} \left(\sum_j \alpha_j \frac{\partial \psi}{\partial x_j} \right) + \alpha_4 mc^2 \psi$

L'omniprésence de \hbar dans toutes les équations fondamentales de la théorie quantique fait en sorte qu'un système physique ne présente d'effets typiquement quantiques que lorsque son *action caractéristique* est de l'ordre de \hbar . Le recours à la théorie quantique est donc nécessaire dans ce cas pour le décrire et l'expliquer.

Mais quand l'*action caractéristique* est très largement supérieure à \hbar , (plus grande que $50\hbar$, disons), la théorie quantique devient superflue puisqu'on n'observe jamais d'effet quantique quand l'*action caractéristique* est aussi élevée. Les théories classiques suffisent alors à décrire le système. (À l'Encadré 3, on montre pourquoi on n'observe jamais d'effet quantique quand l'*action caractéristique* d'un système est très grande par rapport à \hbar .)

À l'inverse, si une combinaison de grandeur physique fournissait une *action caractéristique* nulle ou très petite par rapport à \hbar , celle-ci serait dépourvue de toute signification physique. La plus petite *action* reliée à une particule est égale à $\frac{1}{2}\hbar$, correspondant au spin des quarks et des leptons. Nous ne connaissons aucun phénomène réel caractérisé par une *action* inférieure à $\frac{1}{2}\hbar$. Par conséquent, aucune théorie physique ne saurait rendre compte de situations où l'*action* serait inférieure à cette valeur, faute de pouvoir observer de telles situations expérimentalement. La physique, ne l'oublions pas, est une science expérimentale.

Encadré 3



L'effet tunnel

L'*effet tunnel* illustre pourquoi on n'observe jamais d'*effet quantique* quand l'*action caractéristique* est très grande par rapport à \hbar .

Si vous lancez une balle de ping-pong sur un mur de béton d'un mètre d'épaisseur, quelle est la probabilité que cette balle traverse le mur et se retrouve intacte de l'autre côté du mur ?

Quelle question ! direz-vous. *Aucune chance, bien sûr.*

Et vous auriez parfaitement raison.

Ou presque... Parce que la physique quantique n'est pas aussi catégorique.

Un *quanton* de masse m qui se dirige avec une vitesse v vers un mur d'épaisseur s a une probabilité P_s de se retrouver de l'autre côté du mur. Cette probabilité P_s s'exprime plus précisément par l'équation suivante :

$$P_s = P_0 e^{-2mvs/\hbar}$$

où P_0 est la probabilité que la particule atteigne le mur et où e^x est la fonction exponentielle, avec $e = 2,71828$. (Les calculatrices scientifiques ont une touche permettant de calculer e^x .)

L'important ici, c'est l'*action A caractéristique* égale au produit mvs :

$$A = mvs.$$

Si le mur avait une épaisseur s nulle, disons, alors A serait égale à 0. Et la probabilité P_s que la particule « traverse » le mur serait :

$$P_s = P_0 e^{-0} = P_0 \times 1 = P_0,$$

soit exactement égale à la probabilité d'atteindre le mur.

Bien sûr ! Puisque si $s = 0$, c'est qu'il n'y a pas de mur (!) et que la particule continue son petit bonhomme de chemin comme si de rien n'était. Et dans ce cas, on ne peut pas vraiment parler d'effet *tunnel* et donc pas d'effet quantique non plus. En fait, il n'y a pas d'effet du tout ! Nous sommes ici en plein dans le domaine de la *non-science* où il n'y a rien de particulier à dire.

Si l'*action A caractéristique* était de l'ordre de \hbar (égale à $1 \hbar$, disons), alors la probabilité que la particule traverse le mur serait :

$$P_s = P_0 e^{-2} = P_0 \times (0,135),$$

soit 13,5% de sa probabilité d'atteindre le mur. Cette quantité n'est pas négligeable. Il s'agit d'un véritable *effet tunnel*, un effet typiquement quantique que la physique classique ne prévoit pas. Nous sommes maintenant ici en plein dans le domaine quantique.

Et notre balle de ping-pong ? Elle traverse le mur ? Oui ou non ?

Pour le savoir, il suffit d'évaluer son action *A caractéristique mvs*. En supposant que la masse m de la balle est de 1g, que sa vitesse v en atteignant le mur est de 1 m/s et que le mur a une épaisseur s de 1 m, alors $A = 10^{-3}$ J-s ou 10^{31} fois la constante de Planck \hbar . La probabilité que notre balle traverse le mur est donc :

$$P_s = P_0 e^{-2 \times 10^{31}} \approx P_0 \times 10^{-10^{31}} \approx 0.$$

Soit une chance sur $10^{10^{31}}$! Aussi bien dire aucune. Si on avait essayé depuis le début de l'Univers (i.e. 13,8 milliards d'années ou $4,4 \times 10^{17}$ s), au rythme d'un lancer par seconde, nous aurions encore qu'une chance sur $10^{10^{31}}$ [6] d'avoir vu une fois notre balle traverser le mur. On peut donc avancer, sans aucun risque de se tromper, que personne n'a pu observer un tel phénomène. C'est pourquoi, la théorie quantique prédit qu'on n'a aucune chance tangible d'observer un effet quantique quand l'*action caractéristique* d'un système est très grande par rapport à \hbar (plus de $50\hbar$, disons^[7]). Au-delà de $50\hbar$, nous ne sommes plus dans le *domaine quantique* mais dans le *domaine classique*.

[6] Ce nombre — $10^{10^{31}}$ — est tellement grand que même divisé par 10^{17} , il est encore à peu près égal à lui-même (!) : $10^{10^{31}} / 10^{17} = 10^{10^{31}-17} \approx 10^{10^{31}}$.

[7] Une des *actions caractéristiques* les plus élevées, donnant lieu à un phénomène quantique observable, est celle de la radioactivité alpha du Samarium 147 dont la valeur est d'environ $43\hbar$.

Là où la physique classique est parfaitement apte à décrire le système. Et dans ce cas-ci, cette physique classique prédit qu'une balle de ping-pong ne traversera jamais un mur de béton d'un mètre.

Je vous l'avais dit au début que vous aviez raison...

En résumé (et tel que schématisé à l'Encadré 4), le *domaine quantique* est défini comme celui où les systèmes ont une *action caractéristique* de l'ordre de \hbar (entre $\frac{1}{2}\hbar$ et $50\hbar$, disons). Quand cette *action* est largement supérieure à \hbar , (plus de $50\hbar$), on tombe dans le *domaine classique* où le recours à la théorie quantique est superflu et où les théories classiques suffisent à rendre compte du système. Et si cette *action caractéristique* était largement inférieure à \hbar (moins de $\frac{1}{2}\hbar$), nous tomberions alors dans un *domaine inconnu*, dépourvu de toute signification physique. Une sorte de *terra incognita* ou de *no science land*.

Encadré 4

La constante de Planck délimite trois domaines de la physique	
Si l' <i>action</i> est plus grande que $50\hbar$	→ Domaine classique On n'observe jamais d'effet quantique dans un système où l'action est plus grande que $50\hbar$. La théorie classique suffit alors pour décrire ce système et la théorie quantique est superflue.
Si l' <i>action</i> est comprise entre $\frac{1}{2}\hbar$ et $50\hbar$	→ Domaine quantique On peut observer des effets quantiques quand l' <i>action</i> d'un système est de l'ordre de \hbar . La théorie quantique est alors nécessaire pour décrire ou expliquer ce système.
Si l' <i>action</i> est plus petite que $\frac{1}{2}\hbar$	→ Domaine inconnu On ne connaît aucun système ayant une <i>action</i> inférieure à $\frac{1}{2}\hbar$. Ce domaine est donc inconnu de la physique. Si on découvrait un tel système, on ne peut dire si la théorie quantique serait apte à le décrire correctement.

Le domaine quantique n'est pas nécessairement microscopique

À noter — contrairement à ce qu'on entend parfois — que la délimitation entre les domaines classique et quantique ne coïncide pas avec celle qui sépare le monde macroscopique du monde microscopique. C'est l'erreur que fait Colin (2007) quand il veut démontrer pourquoi la physique quantique peut s'appliquer à l'homéopathie :

« *La physique quantique concerne d'abord l'étude des phénomènes microscopiques et ultramicroscopiques. (...) Nous voyons bien que le médicament homéopathique, préparé par une dilution et une succussion, rentre tout à fait dans ce cadre-là, ce d'autant plus que les hautes dilutions homéopathiques appartiennent au domaine ultramicroscopique.* » (Colin, 2007, p.3)

Faux. La physique quantique ne concerne que les phénomènes dont l'*action caractéristique* est de l'ordre de \hbar , indépendamment du fait que ces phénomènes soient microscopiques ou macroscopiques. Ce n'est pas parce qu'un système est microscopique qu'il faut nécessairement recourir à la théorie quantique pour le décrire. Et à l'inverse, ce n'est pas parce qu'un système est macroscopique, qu'il est automatiquement exclu d'une explication quantique. Tout dépend de la valeur de l'*action caractéristique* en jeu, comparée à \hbar . Des phénomènes comme la superfluidité (Voir l'Encadré 5), la supraconductivité, le rayonnement du corps noir, l'effet laser, la radioactivité, etc., bien qu'ils soient observables macroscopiquement, relèvent chacun de la physique quantique parce pour chacun l'*action caractéristique* est de l'ordre de \hbar .

À l'inverse, la distribution de vitesses des molécules d'un gaz en fonction de la température, par exemple, peut se décrire sans recours à la physique quantique en dépit du fait que les molécules en jeu sont ultramicroscopiques. Autre exemple : le diamètre du noyau atomique — pourtant 100 000 fois plus petit que l'atome (!) — a été obtenu par des méthodes tout à fait classiques, etc.

Encadré 5

La superfluidité, un exemple de système quantique macroscopique

Lévy-Leblond (1984) donne cet exemple d'un système qui, bien que macroscopique, nécessite néanmoins un traitement quantique parce que son *action caractéristique* est de l'ordre de \hbar :

L'hélium, à pression normale, se liquéfie à la très basse température $T_l = 4,2^\circ\text{K}$ (ou -269°C). Il subit, à une température encore inférieure, une transition de phase qui lui confère de curieuses propriétés. Au-dessous du « point lambda », de température $T_\lambda = 2,18^\circ\text{K}$, l'hélium devient *superfluide*, c'est-à-dire qu'il s'écoule avec une viscosité nulle. Il peut ainsi, par capillarité, s'écouler spontanément en dehors d'un vase où l'on prétend le garder. (Est-ce assez macroscopique à votre goût ?)

Lévy-Leblond se demande si ce phénomène est de nature quantique. Pour le savoir, il vérifie si l'*action caractéristique* de l'hélium superfluide est bien de l'ordre de \hbar .

La température de transition T_λ nous fournit une énergie $E = kT_\lambda$ (où $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/°K est la constante de Boltzmann (qui joue un peu le même rôle en thermodynamique que la constante de Planck en quantique)). Nous disposons par ailleurs de la masse volumique de l'hélium, $\rho = 1,46 \times 10^2$ kg/m³. Utilisant la masse de l'atome d'hélium $M = 4 \text{ uma} = 6,7 \times 10^{-27}$ kg, on obtient, par analyse dimensionnelle, l'*action caractéristique* $A = M^{5/6} (kT_\lambda)^{1/2} \rho^{-1/3}$, soit $A = 1,7 \times 10^{-34}$ J-s ou $1,7 \hbar$. Nous sommes donc en plein dans le domaine quantique. On en conclut à la nécessité d'une explication quantique de la superfluidité.

L'action homéopathique

Pour juger de la pertinence de recourir à la physique quantique pour expliquer l'homéopathie, on aura compris qu'il faut d'abord évaluer l'*action caractéristique* d'un système homéopathique et la comparer à \hbar .

La façon d'y arriver consiste à déterminer les paramètres *caractéristiques* du système et à évaluer une combinaison de ces paramètres qui correspond dimensionnellement à une *action*, c'est-à-dire au produit $\mathcal{M}\mathcal{L}^2/\mathcal{T}$ d'une masse \mathcal{M} par une longueur \mathcal{L} au carré, divisée par un temps \mathcal{T} .

Dans le cas de l'homéopathie, il faut considérer les trois « *principes* » qui la sous-tendent : similitude, individualisation et préparation. (Il serait plus juste en fait d'appeler ces trois « *principes* », des « *hypothèses* », non prouvées scientifiquement d'ailleurs, mais que les homéopathes, Hahnemann le premier, ont élevées au rang de « *dogmes* ».) Les deux premiers « *principes* » se prêtent mal, par leur nature qualitative, à une évaluation quantitative de leur *action physique caractéristique*. Seule la partie « préparation » qui se présente en un double procédé — dilution et succussion — se prête à une analyse physique quantitative. Nous nous concentrerons donc sur ces deux procédés pour tenter d'évaluer leur *action caractéristique*.

La dilution homéopathique

Hahnemann pensait qu'on pouvait diluer indéfiniment un ingrédient dans un liquide et que cet ingrédient, toujours présent et de plus en plus finement fractionné, devenait de plus en plus pénétrant.

« *L'atténuation de plus en plus grande d'un médicament liquide, ne le rend pas moins puissant mais toujours plus puissant et pénétrant.* »^[8]
(Hahnemann, 1827, p.733)

^[8] « *Liquid medicine do not become by their greater and greater attenuation, weaker in power but always more potent and penetrating.* » (Hahnemann, 1827, p.733).

Ce « *principe* » de dilution d'un ingrédient en composantes de plus en plus fines a été formulé par Hahnemann vers 1796 au moment où l'on n'avait aucune idée de la nature atomique de la matière. Même Lavoisier, l'illustre chimiste quasi contemporain d'Hahnemann, en était encore à identifier les éléments constitutifs de la matière sans pouvoir déterminer leurs dimensions. L'atome, en tant qu'élément ultime et indivisible, n'était alors qu'une hypothèse.

En 1811, Avogadro émet de son côté l'hypothèse qu'un gaz confiné dans une certaine enceinte, à une température et à une pression données, serait constitué d'un très grand nombre N_A d'entités. (Voir l'Encadré 6.) Mais on ne connaissait toujours pas la valeur de N_A , ni la dimension de ces mystérieuses entités !

Encadré 6



La définition du nombre d'Avogadro

Dans une enceinte de volume V , à une température T donnée et à une pression p donnée, le nombre d'entités d'un gaz est toujours le même, quelle que soit sa nature. Le nombre d'Avogadro N_A a été défini comme étant le nombre d'entités comprises dans un gaz de volume $V = 22,4$ litres, de température $T = 0^\circ\text{C}$ et de pression $p = 101$ kPa. La masse de ces N_A entités, exprimée en grammes, est égale au poids relatif des quelques dizaines d'éléments qu'on connaissait à ce moment-là. On a appelé cette quantité de matière, une mole. Une mole d'hydrogène pèse 1g, une mole de carbone 12g, une mole d'eau 18g, etc. Un grand pas venait ainsi d'être franchi dans notre compréhension de la matière même si on ne connaissait toujours pas la valeur de N_A .

En 1905, faute de preuve directe, l'atome était toujours considéré comme une hypothèse. Jusqu'à ce qu'on analyse le mouvement erratique d'un grain de pollen en suspension dans un liquide, déjà observé par le botaniste Brown en 1827. Ce mouvement semble le résultat de milliards de collisions venant des atomes qui s'agitent. Au microscope, on ne voit pas les atomes mais seulement le mouvement du grain de pollen ballotté par les atomes. Un peu comme si on observait de très haut un immense ballon de plage ballotté par des milliers de personnes à peine visibles. En se basant sur cette hypothèse, Einstein calcula en 1905 que le grain de pollen devait s'éloigner progressivement en moyenne de son point de départ. Et que cet éloignement Δx en fonction du temps, est inversement proportionnel à la racine carrée du nombre d'Avogadro N_A . Trois ans plus tard, en 1908, Jean Perrin (1909)^[9] mesura le déplacement Δx de colloïdes dans un liquide et put ainsi déterminer la valeur du nombre d'Avogadro. (Voir l'Encadré 7.)

^[9] La découverte fut faite en 1908 mais publiée quelques mois plus tard, en 1909. Il n'y avait pas Internet à l'époque...

Encadré 7



La valeur du nombre d'Avogadro

Et le nombre d'Avogadro vaut (roulement de tambour) ... :

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ molécules par mole !}$$

Comme une mole de carbone (C) pèse 12g, la masse d'un atome de carbone est donc :

$$m_C = 0,012 \text{ kg} / N_A = 1,99 \times 10^{-26} \text{ kg},$$

celle d'un atome d'hydrogène (H) est :

$$m_H = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg, etc.}$$

Si on connaît la masse m d'un atome et la densité ρ d'un solide constitué de ces atomes, on peut dès lors estimer la dimension d des atomes :

$$d = \sqrt[3]{m/\rho}.$$

Par exemple, le graphite (C) a une densité ρ d'environ $2,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, alors le diamètre d_C de l'atome de carbone est :

$$d_C = \sqrt[3]{1,99 \times 10^{-26} / 2,2 \times 10^3} = 2,1 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

Celui d_H de l'atome d'hydrogène est d'environ 10^{-10} m . La petitesse des atomes explique peut-être pourquoi Hahnemann croyait que la matière pouvait se subdiviser indéfiniment. S'il a eu déjà l'occasion d'observer au microscope la dissolution de granules dans l'eau, il a dû voir ceux-ci disparaître sous ses yeux quand leur diamètre descendait en dessous de 0,5 micron ($5 \times 10^{-7} \text{ m}$). C'est la limite de résolution des microscopes optiques, laquelle correspond aux longueurs d'onde de la lumière visible qui vont de 0,4 à 0,7 micron. Or, les atomes sont encore 5 000 fois plus petits !

Après plus d'un siècle de travaux sur la structure de la matière, on tenait enfin la preuve directe de l'existence de ces atomes et on pouvait enfin connaître leur masse et leurs dimensions !

Ce qui incidemment permettait de calculer aussi le nombre d'atomes (ou de molécules) de l'ingrédient actif qui subsistaient à la fin d'une dilution homéopathique. (Voir un exemple de ce calcul à l'Encadré 8.)

Encadré 8


Combien reste-t-il d'atomes de l'ingrédient actif dans un produit homéopathique de 30 CH ?

L'homéopathie prétend traiter certaines maladies en utilisant des concentrations extrêmement faibles de certaines substances. Prenons par exemple un flacon de *phosphorus* 30 CH. L'expression « *phosphorus* 30 CH » indique le taux de concentration du phosphore dans le produit homéopathique. Un CH signifie une partie de phosphore diluée dans 99 parties d'eau. 30 CH signifie qu'on a procédé ainsi à 30 dilutions successives de 1 CH. On peut se demander combien il reste d'atomes de phosphore (**P**) à la fin de ces 30 dilutions.

Pour le savoir, prenons un gobelet de 1cm^3 et remplissons-le d'acide phosphorique H_3PO_4 (qui sera plus facile à dissoudre plus tard dans l'eau que du phosphore pur). Combien y a-t-il d'atomes **P** dans ce cm^3 ?

La densité du H_3PO_4 est de $1,8\text{ g/cm}^3$. La masse d'une molécule H_3PO_4 est 98 uma (pour « unités de masse atomique ») ou

$$(98\text{ uma})(1,66\times 10^{-24}\text{ g/uma}) = 1,6\times 10^{-22}\text{ g.}$$

Le nombre de molécules est donc $(1,8\text{ g/cm}^3)/(1,6\times 10^{-22}\text{ g}) = 1,1\times 10^{22}$ molécules/ cm^3 . Comme il y a un atome **P** par molécule, on a donc environ **10^{22}** atomes **P** dans notre petit gobelet d'un cm^3 .

Prenons maintenant un bécher de 100 mL. Versons-y 99 mL d'eau (H_2O) et le contenu de notre gobelet d'acide phosphorique. Après avoir bien mélangé le tout (on peut même le *secouer*, si on veut...), nous obtenons ainsi 100 mL d'une solution de phosphore **1 CH** contenant toujours **10^{22}** atomes **P**.

Mettons de côté notre bécher de **P 1 CH** et utilisons un autre bécher de 100 mL dans lequel nous versons 99 mL d' H_2O . Reprenons notre gobelet de 1 mL et allons puiser dans le premier bécher de 100 mL, 1 mL de solution **P 1 CH**. Ce gobelet contient maintenant 1% des atomes **P** de notre solution **1 CH**, soit **10^{20}** atomes **P**. Versons-le dans nos 99 mL d' H_2O pour obtenir une solution de phosphore **2 CH**. Après seulement 2 dilutions, nous avons atteint une concentration d'environ 100 ppm, soit 100 atomes de **P** par million d'autres atomes. Ce qui correspond à la dose létale des produits les plus toxiques comme l'acide cyanhydrique.

À **3 CH**, il nous reste **10^{18}** atomes et la concentration de **P** est de 1 ppm. La plupart des produits n'ont pratiquement aucun effet détectable en dessous de ce seuil.

À **4 CH**, il reste encore **10^{16}** atomes **P**, ce qui peut sembler beaucoup mais c'est un million de fois moins qu'au début. Et ainsi de suite, en soustrayant 2 à l'exposant de 10 à chaque dilution....

À **10 CH**, il ne reste que 10^4 ou 10 000 atomes **P**; à **11 CH**, il en reste 100, puis à **12 CH**, il n'en reste plus qu'un !

Nombre d'atomes de phosphore restant après chaque dilution d'un CH

1 CH	2 CH	3 CH	4 CH	5 CH	6 CH	7 CH	8 CH	9 CH	10 CH	11 CH	12 CH	>12 CH
10^{22}	10^{20}	10^{18}	10^{16}	10^{14}	10^{12}	10^{10}	10^8	10^6	10^4	100	1	0

Au delà de **12 CH**, il ne reste que des probabilités de plus en plus faibles de trouver un seul atome **P**.

Aussi bien dire qu'il ne reste plus rien...^[10]

L'action caractéristique d'une dilution homéopathique

Pour les dilutions supérieures à 12 CH, il ne reste plus aucune molécule de l'ingrédient actif. Difficile dans ce cas, d'assigner une masse \mathcal{M} caractéristique en jeu, sinon une masse nulle. Ce qui entraîne automatiquement une *action caractéristique* nulle qui nous situe très en deçà du domaine quantique, dans un domaine inconnu de la physique. On ne saurait donc, ici, associer quelque effet quantique à ces dilutions extrêmes.

Certains ont invoqué la *fluctuation du vide* (Voir l'Encadré 9.) pour expliquer un quelconque effet des dilutions supérieures à 12 CH. Rappelons ici qu'une série de dilutions qui fait disparaître la molécule de l'ingrédient actif, ne signifie pas pour autant que nous ayons créé du *vide*. Au fil des dilutions successives, ces molécules ont simplement été remplacées par d'autres molécules d'eau. Il reste bien sûr du vide entre les atomes et entre les électrons et les noyaux atomiques. Mais ni plus, ni moins qu'avant toute dilution. Il est donc difficile là aussi de voir en quoi la dilution de l'ingrédient actif aurait changé quoi que ce soit aux propriétés de la matière ou du vide. Ou encore quelle information aurait pu apparaître et se maintenir suite à ces dilutions.

Conclusion : L'*action caractéristique* des dilutions homéopathiques étant nulle, celles-ci ne sauraient être associées à un quelconque effet quantique. Elles se situent hors du domaine quantique, hors du domaine classique, dans un domaine étranger à la physique.

⁽¹⁰⁾ Le 23 mai 1994, pour montrer qu'il ne restait plus rien au delà de 12 CH, l'auteur a tenté de se suicider *homéopathiquement* en avalant un millier de granules homéopathiques *Arsenica* 30CH. Il se porte encore merveilleusement bien aujourd'hui, vingt ans plus tard... Pendant 5 ans, de 1995 à 2000, il a offert publiquement, via le *Défi sceptique*, la somme de 500 000 \$ à quiconque pourrait différencier expérimentalement (ou cliniquement) deux produits homéopathiques différents ayant un taux de dilution supérieur à 12CH. Personne n'a osé relever le défi...



La fluctuation du vide

La fluctuation du vide est un phénomène typiquement quantique qui correspond aussi, via l'*inégalité temporelle d'Heisenberg*, à une *action caractéristique* de l'ordre de \hbar . Pour faire surgir du vide une paire d'électron-positron virtuels, par exemple, dont l'énergie massique ΔE est d'environ 1 MeV, il faut « *emprunter au vide* » une quantité d'énergie ΔE dans un temps Δt extrêmement court, inférieur à $\hbar/\Delta E$. Ce qui veut dire, dans ce cas, un temps inférieur à 6×10^{-22} s. Et cette paire d'électron-positron virtuels peut disparaître ensuite aussi vite qu'elle est apparue en remettant son énergie d'un MeV au vide. L'*action caractéristique* de la fluctuation du vide, le produit de l'énergie en jeu ($E = 1,6 \times 10^{-13}$ J) par la durée ($\Delta t = 6 \times 10^{-22}$ s), est égale à 10^{-34} J·s et montre bien qu'elle fait partie du domaine quantique et qu'il s'agit d'un phénomène typiquement quantique. Dans un monde classique où \hbar serait nulle, il n'y aurait pas de fluctuation du vide.

Le lecteur peu habitué aux concepts de la physique quantique pourrait penser à la lecture que ce qui précède, que les concepts de dilution et de succession en homéopathie semblent beaucoup plus sensés finalement que ces absurdes emprunts d'énergie quantique au vide !

Ce lecteur n'aurait pas complètement tort. Certains concepts de la physique quantique sont effectivement très étranges. Et c'est justement sur cette étrangeté, hélas, que misent les homéopathes pour mystifier le profane. Mais à la différence de l'homéopathie qui repose sur quelques dogmes jamais remis en question, les théories physiques sont systématiquement soumises à rudes épreuves par des vérifications expérimentales quantitativement rigoureuses et précises. Pour vous donner une idée de la précision inouïe de ces prédictions théoriques et de leur vérification expérimentale, Richard Feynman (1985) — un des fondateurs de l'électrodynamique quantique — donne l'exemple suivant : À partir de cette fluctuation du vide et des diagrammes qui portent maintenant son nom, il a pu prédire théoriquement en 1948 que le facteur g de Landé qui intervient dans le calcul du moment magnétique de l'électron devait être égal à

$$g_{\text{thé}} = -2,002\ 319\ 304\ 92 \pm 0,000\ 000\ 000\ 40$$

alors que les plus récentes valeurs expérimentales donnent :

$$g_{\text{exp}} = -2,002\ 319\ 304\ 3718 \pm 0,000\ 000\ 000\ 0075.$$

L'écart entre la valeur prédite théoriquement et celle obtenue expérimentalement est d'environ une partie sur 4 milliards. C'est comme mesurer la distance de 3 936 km entre New York et Los Angeles avec une précision d'un millimètre ! C'est sur ce genre d'adéquation précise entre prédictions théoriques et vérifications expérimentales que s'est bâtie la confiance que nous avons maintenant dans la théorie quantique. Nonobstant l'étrangeté de certains de ses concepts...

La succussion homéopathique

Pour s'assurer d'une bonne homogénéisation, Hahnemann secouait, à chaque étape de dilution, le liquide contenant l'ingrédient actif.

« À des fins homéopathiques, cette dilution s'accomplit en secouant vigoureusement une goutte de médecine avec cent gouttes d'un liquide non médicinal; de la bouteille ainsi secouée, on retire une goutte que l'on secoue de la même manière avec cent gouttes de liquide non médicinal, et ainsi de suite. »^[11] (Hahnemann, 1827, p.733).

Il croyait, ce faisant, non seulement homogénéiser chaque dilution mais augmenter la puissance de l'ingrédient actif.

« Les substances médicinales ne sont pas des masses inertes dans le sens ordinaire du mot, mais au contraire, leur véritable nature essentielle n'est que dynamiquement spirituelle — une force pure dont la puissance peut être amplifiée, presque à un degré infini, par ce merveilleux procédé qu'est la trituration (et la succussion) selon la méthode homéopathique. »^[12] (Hahnemann, 1827, p.733).

Le discours d'Hahnemann confine ici au délire. Que signifie concrètement cette affirmation à l'effet que la « véritable nature essentielle » de la matière serait « dynamiquement spirituelle — une force pure dont la puissance serait amplifiée par la trituration et la succussion » ? C'est pourtant sur ce genre de délire que s'appuient les homéopathes aujourd'hui pour trouver des vertus « dynamisantes » aux triturations et aux succussions homéopathiques qui amplifieraient, selon eux, le pouvoir de guérison de leurs produits.

Pour donner une apparence de scientificité à l'affaire, on tente maintenant de relier ces succussions à des effets quantiques comme l'*intrication*. Le contact intime que produiraient ces succussions, ferait en sorte que l'ingrédient actif et les molécules d'eau resteraient en contact permanent, via l'amplitude quantique qui les décrit, même après que l'ingrédient actif eût complètement disparu suite aux dilutions. Certains (comme Milgrom, 2008) vont même plus loin, en prétendant que cette *intrication quantique* se prolonge jusqu'à inclure dans un grand tout, à la fois le thérapeute, le patient et le granule ! (Voir à ce sujet l'Encadré 10.) Ce qui expliquerait entre autres, selon eux, pourquoi l'homéopathie ne peut se prêter à des études statistiques portant sur l'efficacité thérapeutique de ses produits. Parce que

^[11] « For homœopathic purposes, this dilution is performed by well shaking a drop of the medicine with a hundred drops of a non-medicinal fluid; from the bottle so shaken a drop is taken and shaken up in the same manner with another hundred drops of unmedicinal fluid, and so on. » (Hahnemann, 1827, p.733).

^[12] « Medicinal substances are not dead masses in the ordinary sense of the term, on the contrary, their true essential nature is only dynamically spiritual — pure force, which may be increased in potency by that most wonderful process of trituration (and succussion) according to the homœopathic method, almost to an infinite degree. » (Hahnemann, 1827, p.733).

ce ne serait pas nécessairement le produit lui-même qui agirait, mais plutôt cette nouvelle trinité quantique *thérapeute-patient-granule* qui agirait maintenant comme un tout inextricable et qui conditionnerait le résultat du traitement. Ouf !

Encadré 10



L'intrication quantique

Lorsqu'on excite des atomes de calcium (Ca) à l'aide d'un laser au fluorure de krypton (KrF), on produit une cascade de paires de photons UV *intriqués*, c'est-à-dire que chaque paire de photons est décrite par une seule fonction d'onde quantique ψ où chaque photon a une chance sur 2 d'être polarisé dans un plan **H**, ou dans un plan **V**, perpendiculaire au premier. Si l'un des photons est polarisé dans un plan, l'autre est nécessairement polarisé dans le même plan.

La fonction d'onde ψ décrivant les deux photons forme un système unique *non-localisé* comme si les deux photons formaient une seule particule, même s'ils sont très éloignés l'un de l'autre.

Si on fait une mesure sur un des deux photons et qu'on constate, par exemple, qu'il a une polarisation **H**, alors on peut être sûr que l'autre a lui aussi la même polarisation **H**.

Jusqu'ici, rien de bien sorcier.

L'explication classique c'est que, dès leur émission, les photons ont déjà une polarisation **H** ou **V**. Si on mesure la polarisation d'un des deux photons, et qu'on constate qu'il est polarisé **V**, alors, bien sûr, l'autre doit être polarisé **V**.

C'est plein de bons sens mais ce n'est pas ce que dit la théorie quantique.

L'explication quantique c'est que, lors de leur émission, les photons ne « connaissent » pas leur polarisation. Un peu comme les photons qu'on envoie sur une lamelle de verre, ne « savent » pas à l'avance s'ils seront réfléchis ou transmis.

Au départ, leur polarisation est *indéterminée*. Mais les deux photons forment un seul système décrit par l'onde quantique ψ , quelles que soient les dimensions du système !

Si on détecte un des deux photons et qu'on constate qu'il est polarisé **V**, disons, alors l'autre « apprend » *instantanément* qu'il est aussi polarisé **V**. Même si la distance entre les deux photons était telle que « l'information » se serait transmise plus vite que la vitesse de la lumière.

Cette interprétation quantique a été présentée par Schrödinger en 1935. Einstein la trouvait « déraisonnable » parce qu'elle choquait sa conception du *réalisme local*. Faire une mesure sur une particule en un endroit donné ne pourrait influencer instantanément, selon lui, l'état d'une autre particule ailleurs.

Il proposa que les particules devaient avoir des « variables cachées » qui déterminent leur état au moment même de leur émission.

Il a fallu 45 ans pour qu'on puisse trancher la question avec une expérience décisive : Celle d'Alain Aspect qui a démontré expérimentalement en 1982-1984 la violation des *inégalités de Bell* confirmant que l'interprétation quantique était correcte.

Cette interprétation quantique ne viole aucunement le principe relativiste à l'effet que la transmission d'une information (qui implique nécessairement une transmission d'énergie, en physique) ne peut voyager plus vite que la lumière. Parce que même quand l'état d'une des particules a été déterminé, l'état de l'autre particule *intriquée* reste tout autant probabiliste. Seule une mesure sur cette autre particule permettra de déterminer son état. Il n'y a donc pas ici de « *communication instantanée* », au sens physique du terme.

Mais ce qui est important de remarquer ici, c'est que ce phénomène d'intrication quantique ne peut se produire que si l'*action caractéristique* des particules impliquées est de l'ordre de \hbar . Dans le cas de l'émission du laser KrF, les deux photons intriqués ont chacun une énergie E de 5 eV (ou 8×10^{-19} J) et se situent dans le spectre du proche ultraviolet avec une pulsation ω de $7,6 \times 10^{15}$ Hz. Leur *action caractéristique* est donc égale à $2E/\omega$, soit

$$(2 \times 8 \times 10^{-19} \text{ J}) / (7,6 \times 10^{15} \text{ Hz}) = 2,1 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s},$$

c'est-à-dire $2\hbar$.

Si l'*action caractéristique* d'un système de deux particules intriquées est égale à $2\hbar$, on peut facilement généraliser pour un système à N particules où l'*action caractéristique* serait égale à $N\hbar$. On voit tout de suite la difficulté d'obtenir un système où le nombre N de particules intriquées serait élevé : l'*action caractéristique* deviendrait très grande par rapport à \hbar et nous sortirions alors du domaine quantique. L'enchevêtrement de l'onde quantique décrivant ces N particules finirait par détruire l'intrication.

Quand on voit, par exemple, certains auteurs (Ho, 2010) parler de zones de cohérence moléculaire et d'intrication quantique ayant un rayon de 100 nm, impliquant un milliard de molécules, composées elles-mêmes de dizaines de protons, neutrons, électrons, etc., on peut imaginer l'*action caractéristique* gigantesque en jeu qui serait alors des milliards de fois plus grande que \hbar . Ce qui nous sortirait encore une fois complètement du domaine quantique. Et que dire maintenant quand l'intrication impliquerait à la fois le thérapeute, le patient et le granule homéopathique, mettant ainsi des milliards de milliards de fois plus de particules en jeu ?... — (Voir Milgrom, 2008). Nous sommes maintenant entrés, je pense, dans le domaine psychédélique...

L'action caractéristique d'une succussion homéopathique.

Pour savoir si on peut espérer quelque effet quantique de la succussion homéo-pathique, la recette est simple : évaluer l'*action caractéristique* d'une succussion et la comparer à \hbar . Cette évaluation est présentée dans l'Encadré 11.

Encadré 11



Calcul de l'action caractéristique d'une succussion homéopathique

Pour connaître les paramètres qui permettraient d'évaluer cette *action caractéristique*, nous avons demandé à M. Luc Delem, responsable des préparations homéopathiques aux *Laboratoires Homéodel*, à Québec. Chez *Homéodel*, chaque dilution se fait avec une quantité de 0,1 mL provenant d'une dilution antérieure, diluée dans 10 mL d'eau. Cette nouvelle dilution est ensuite secouée 100 fois, avec une amplitude L de 3 cm, à la fréquence f de 18 secousses/seconde.

L'évaluation d'une *action caractéristique* demande un certain sens physique afin de bien déterminer les grandeurs caractérisant un système. Si on suppose ici que l'ensemble des 10 mL d'eau participe aux propriétés homéopathiques de la succussion, la *masse M caractéristique* en jeu serait alors égale à 10g. Dans le cas d'un mouvement périodique — telle la succussion — la *pulsation* ω apparaît plus naturelle que la *fréquence* f pour évaluer l'*action caractéristique*. La relation entre ces deux grandeurs est $\omega = 2\pi f$.

Ainsi, l'*action A caractéristique* d'une succussion homéopathique de n secousses sera :

$$A = nML^2 \omega.$$

En exprimant ces trois dernières quantités dans le *Système International d'unités* et en multipliant le tout avec $n = 100$, on obtient :

$$A = (100)(0,01 \text{ kg})(0,03\text{m})^2 (2\pi \times 18/\text{s}) = 0,1 \text{ J}\cdot\text{s}$$

On constate que cette *action caractéristique* est égale à $10^{33} \hbar$ (!).

À l'Encadré 3, on montrait que l'*action caractéristique* d'une balle de ping-pong lancée à 1 m/s sur un mur en béton d'un mètre d'épaisseur était égale à $10^{31} \hbar$. L'*action caractéristique* d'une succussion homéopathique étant 100 fois plus grande, c'est dire que la probabilité de voir un jour surgir un effet quantique en homéopathie est encore plus faible que celle de voir un jour une balle de ping-pong traverser un mur de béton de 100 mètres d'épaisseur...

Conclusion : L'*action caractéristique* d'une succussion homéopathique étant très grande par rapport à \hbar , cela nous situe carrément hors du domaine quantique, très loin dans le domaine classique. Les succussions homéopathiques ont donc des *actions caractéristiques* tout à fait étrangères à la physique quantique. Si les présumés effets de ces succussions trouvent un jour une explication physique, ce n'est sûrement pas du côté de la physique quantique qu'elle viendra.

Quelques conseils au D^r René-Philippe Halm...

Les *actions caractéristiques* qu'on rencontre en homéopathie, l'excluent complètement du domaine quantique. En d'autres mots : on ne peut faire appel à la physique quantique pour expliquer le présumé fonctionnement de l'homéopathie.

Au D^r René-Philippe Halm (2011) — que je citais en début de texte — j'aimerais donner les quelques conseils suivants :

Si quelqu'un invoque la physique quantique pour expliquer un effet homéopathique quelconque, demandez-lui quelle est l'*action caractéristique* de cet effet.

Si votre interlocuteur semble ignorer le sens de ce qu'est une *action caractéristique* en physique, vous avez affaire à un amateur qui ne connaît rien de la physique quantique. Ne perdez pas votre temps à écouter ses balivernes. Surtout, évitez de déranger le Professeur Lévy-Leblond avec ça !

Si votre interlocuteur vous donne un estimé quantitatif (exprimé en J-s) de cette *action caractéristique*, c'est déjà bien. Demandez-lui maintenant comment cette *action caractéristique* se compare à la constante de Planck $\hbar = 1,05 \times 10^{-34}$ J-s.

Si cette *action caractéristique* est de l'ordre de \hbar , ça peut être intéressant. Je suis convaincu que le Professeur Lévy-Leblond — qui vous disait justement dans sa réponse être « *intéressé par ces dérivées pseudo-scientifiques et tout prêt à répondre à d'autres demandes de votre part sur ce terrain* » (Halm, 2011, p13) — pourrait vouloir y jeter un coup d'œil et vous donner une opinion experte sur la pertinence de l'effet quantique invoqué.

Si cette *action caractéristique* n'est pas de l'ordre de \hbar (soit parce qu'elle est trop grande, soit parce qu'elle est trop petite par rapport à \hbar), vous avez affaire à un imposteur. L'effet qu'il invoque ne s'explique sûrement pas par la physique quantique. Ne perdez pas votre temps (et encore moins, celui du Professeur Lévy-Leblond) à écouter ses balivernes...

Il y a une autre catégorie d'imposteurs qui sont parfaitement conscients, eux, que leurs allégations n'entrent pas dans le domaine quantique tel que défini par la constante de Planck mais qui prétendent avoir développé hors de ce domaine une « extension » de la théorie quantique qu'ils appellent la *Weak Quantum Theory (WQT)* — (Weingärtner, 2007). Cette théorie quantique est *faible* en effet ! Elle s'approprie des effets typiquement quantiques pour les appliquer sans raison au domaine classique, ce qui lui permet de dire n'importe quoi. Sachez que cette *WQT* n'est pas de la physique.

Entretenir à tout prix l'illusion d'une légitimité scientifique

Durant tout le XIX^e siècle, l'homéopathie a pu prospérer à l'abri de notre ignorance de la réalité des atomes. Plusieurs mettaient déjà en doute ses prétentions sur les propriétés de ces dilutions extrêmes et de ces succussions *dynamisantes* — comme en font foi les écrits d'Hahnemann (1827) qui, en retour, traitait ceux-ci d'ignorants... Mais on n'avait toujours aucune preuve scientifique en faveur ou en l'encontre de ces hypothèses, faute de connaître la valeur du nombre d'Avogadro, la clé pour connaître la dimension des atomes. Après tout, si ce nombre d'Avogadro avait une valeur supérieure à 10^{60} molécules/mole, il serait resté encore quelques atomes, même après une dilution de 30 CH et il aurait pu se faire que l'hypothèse d'Hahnemann eût quelque fondement.

Mais quand en 1908, Jean Perrin a pu établir expérimentalement la valeur du nombre d'Avogadro à $6,022 \times 10^{23}$ molécules/mole, permettant du même coup de déterminer enfin la taille des atomes, la théorie homéopathique s'effondrait. L'hypothèse d'Hahnemann, à l'effet que la matière pouvait se subdiviser indéfiniment et qu'il restait toujours quelque chose de l'ingrédient actif après toutes ces dilutions extrêmes, venait d'être réfutée. Un simple calcul permettait de conclure que pour des dilutions supérieures à 12 CH, il ne restait plus aucune molécule de l'ingrédient actif. (Voir l'Encadré 8.) C'était là la preuve définitive que les dilutions supérieures ne pouvaient avoir d'effet physique.

Normalement donc, à partir de 1908, on aurait dû envoyer l'homéopathie au cimetière des hypothèses réfutées par les faits.

Mais c'était sans compter sur les intérêts mercantiles d'une industrie devenue fort lucrative avec le temps. On peut comprendre la résistance des homéopathes de l'époque, face à une découverte scientifique qui rendait caduque à la fois leur doctrine ... et leur fonds de commerce.

Ce qui aurait été noble et honnête (je rêve un peu, là !), c'eût été que, suite à cette grande découverte de Perrin, les homéopathes convoquent — peut-être pas dès 1908 (Perrin ayant publié sa découverte en 1909), mais peu de temps après, autour de 1910 disons, histoire de leur laisser le temps d'en tirer les conclusions qui s'imposent — convoquent, dis-je, un Congrès mondial d'homéopathie. Pour s'excuser d'abord d'avoir (à leur insu peut-être) trompé des milliers de personnes durant plus d'un siècle sur les vertus proclamées de l'homéopathie. Mais aussi pour annoncer officiellement au monde entier que la doctrine homéopathique venait d'être réfutée scientifiquement, qu'elle ne pouvait pas fonctionner vue l'absence de molécules de l'ingrédient actif au delà de 12 CH et que par conséquent tous les produits homéopathiques seraient dès lors retirés des pharmacies, que les laboratoires homéopathiques cesseraient d'en produire et que les homéopathes s'engageaient à déconseiller à leurs patients d'y recourir. À la fin du congrès, l'Association internationale des homéopathes se serait sabordée. Ç'aurait été noble, honnête et beau. De quoi vous redonner confiance en la nature humaine.

Mais ce n'est pas ce qui est arrivé. La nature humaine étant ce qu'elle est, les homéopathes ont continué leur pratique. L'homéopathie a subsisté jusqu'à nos jours en s'accrochant pathétiquement aux dernières avancées de la science. Non pas pour essayer de trouver un fondement scientifique à l'homéopathie. Ç'aurait été perdu d'avance de toute façon. Mais pour au moins se donner une apparence de scientificité.

Faire accroire à des effets quantiques qui avaliseraient l'homéopathie, c'est très facile. Peu de gens connaissent la physique quantique. Les homéopathes ont donc beau jeu dans ces circonstances pour dire n'importe quoi et ainsi entretenir dans le public l'illusion d'une légitimité scientifique.

Cette mémorable année 1908 où Perrin mesurait le nombre d'Avogadro permettant de connaître enfin la dimension des atomes, aura donc marqué l'histoire de l'homéopathie.

C'est l'année où les homéopathes — du moins ceux qui ont persisté à prescrire, fabriquer et/ou vendre leurs granules vides — sont tous officiellement devenus des charlatans...

DEUXIÈME PARTIE

Des granules homéopathiques amnésiques
ou
Comment les procédés homéopathiques ont pour effet d'effacer
une partie de l'information moléculaire

Après le choc provoqué par la découverte de Perrin en 1908 impliquant que les dilutions supérieures à 12 CH ne contenaient plus aucune molécule de l'ingrédient actif, les homéopathes ont alors inventé la chose suivante : malgré l'absence de toute molécule active, ils se sont mis à prétendre — toujours sans preuve évidemment — que les granules homéopathiques contenaient néanmoins un « *message de guérison* » qui était transmis au patient. Sommés d'expliquer un peu plus ce qu'ils entendaient par là et comment était-ce possible, ils ont agrémenté la chose en y ajoutant cette fable sur la « *mémoire de l'eau* ». (Voir Larivée *et al.*, 2014, dans ce numéro.) Aucune précision cependant sur la nature de ce mystérieux *message*, non plus que sur l'*information* qu'il contiendrait, ou sur le mécanisme d'inscription de cette *information*, soit dans la structure de la molécule d'eau ou soit dans la « *cohérence* » du liquide, encore moins sur la façon que ce *message* pouvait passer de l'eau au granule, puis du granule au patient, etc. Mais cette imprécision était peut-être voulue. Après le choc subi en 1908 par la découverte de Perrin qui détruisait le mythe sur le caractère infinitésimal de la matière, les homéopathes cherchaient peut-être à s'éloigner de tout risque de vérification un peu trop serrée sur le bien-fondé de l'homéopathie et sur la réalité de ce fameux *message*. En prenant bien soin de l'envelopper ainsi d'un flou ésotérique, peut-être se croyaient-ils protégés pour longtemps de la curiosité scientifique.

Mais pas de chance. Après le choc de 1908, un autre les attendait en 1948 quand Claude Shannon (1948) jeta les bases de la *théorie de l'information* reliant le concept d'*information* à celui d'*entropie* en thermodynamique. On savait depuis le XIX^e siècle qu'en augmentait la température d'une substance, on augmentait le « *désordre* » dans cette substance, ce qui diminuait l'énergie interne convertible en *travail* (au sens physique du terme). On a appelé « *entropie* » cette mesure du « *désordre* ». Ludwig Boltzmann a même demandé que soit inscrite sur sa tombe — tellement il en était fier — la fameuse relation $S = k \ln \Omega$ qu'il avait établie et qui fait le pont entre l'*entropie* S et le *désordre* « $\ln \Omega$ »^[13], par l'intermédiaire de la constante k qui porte maintenant son nom. Relation dont nous nous servons un peu plus loin pour l'appliquer à l'homéopathie.

Ce que Shannon a démontré en 1948 c'est que l'*information* est le contraire du *désordre*, le négatif de cette « *entropie* » qu'on connaissait déjà en thermodynamique. Pour cette raison, *information* est maintenant synonyme de *néguentropie*. Et l'*information* est dès lors devenue une grandeur physique mesurable considérée aujourd'hui comme un des constituants importants de l'Univers, au même titre que l'*énergie* ou la *masse*. En astrophysique, on mesure ainsi l'*information nucléaire*, *électromagnétique* ou *gravitationnelle* contenue dans

^[13] Plus précisément, ce « *désordre* » est défini comme le logarithme du nombre Ω d'états accessibles de toutes les molécules de la substance.

les lois de la nature^[14]. En télécommunication et en informatique, les ingénieurs travaillent à tous les jours avec cette grandeur physique pour concevoir leurs systèmes. En génétique, on mesure ainsi l'information contenue dans l'ADN. La notion de *bit* ou d'*octet* pour mesurer l'information, ou celle de *baud* pour mesurer la vitesse de transmission de l'information, sont maintenant familières à quiconque a déjà acheté un ordinateur ou s'est déjà connecté à Internet.

Curieusement, l'homéopathie est restée en marge de cette révolution de l'*information* commencée il y a plus de 60 ans, elle qui prétend pourtant à l'inscription d'un *message* dans la *mémoire*^[15] de l'eau, *message* qui serait transmis au patient par le granule homéopathique. Autant de concepts qui devraient pourtant se mesurer en *bits* et en *bauds*. À moins que ce *message* soit d'une autre nature que physique. Mystique, peut-être ? Ou ésotérique ? C'est ce que nous verrons dans les prochaines sections en confrontant l'homéopathie à cette nouvelle physique de l'*information*. Mais au préalable, penchons-nous sur un effet que les homéopathes attribuent à la succussion,

La dynamisation homéopathique

Les homéopathes font grand cas de ce qu'ils appellent la « *dynamisation* » ou « *l'effet dynamisant* » des succussions homéopathiques qui « *imprimerait* » en quelque sorte le « *message homéopathique* » sur les molécules du solvant, une fois l'ingrédient actif disparu. Hahnemann (1827), on l'a vu dans la première partie, pensait que l'ingrédient actif ne disparaissait pas, suite aux dilutions extrêmes, mais prétendait que les succussions homéopathiques libéraient des « *forces pures, dynamiquement spirituelles* ».

Pour un physicien, ce langage est pur charabia. Certains contemporains d'Hahnemann ne se gênaient pas d'ailleurs pour mettre en doute ce genre d'affirmations en lui opposant une argumentation quantitative. Mais rien n'y fit. Celui-ci traitait plutôt dédaigneusement ses détracteurs « *d'arithméticiens* ». Comme en fait foi la citation suivante, où Hahnemann parle de l'énergie « libérée » par la *friction* de l'acier sur une pierre, qu'il compare à celle « libérée » par la *succussion*. L'acier contient, dit-il « *une réserve inépuisable d'énergie qui ne peut être calculée par les chiffres d'aucun de ces arithméticiens qui cherchent à limiter la nature et à l'avilir, en appliquant leur table de multiplication aux phénomènes de ses forces illimitées.* »^[16] (Hahnemann, 1827, p.731.).

^[14] Le lecteur intéressé à en savoir plus sur le duo *entropie-information* en astrophysique, pourra consulter le beau livre d'Hubert Reeves (1986) — *L'heure de s'enivrer. L'univers a-t-il un sens ?* — où il trouvera une présentation lumineuse et accessible de ces deux concepts.

^[15] Ne pas confondre ici, ce que les homéopathes appellent la « *mémoire de l'eau* » avec ce qu'on appelle « *l'information moléculaire* ». La première est un concept flou, non mesurable, qui ne correspond à aucune propriété physique connue de l'eau. Alors que la seconde est définie comme le négatif de l'entropie, une quantité mesurable en J/°K et qui constitue une propriété physique des substances. Le concept d'entropie est bien connu depuis le début du XIX^e, ayant servi aux ingénieurs de l'époque à optimiser l'efficacité des premières machines à vapeur.

^[16] « (Steel contains) *an inexhaustible store of energy which is not calculable by the cyphers of any of those arithmeticians who seek to limit nature and render her contemptible, by applying their multiplication table to the phenomena of her illimitable forces.* » (Hahnemann, 1827, p.731.)

Défiant Hahnemann, amusons-nous à jouer aux *arithméticiens* en évaluant l'*énergie caractéristique* de telles succussions homéopathiques; pour voir comment elle se compare à l'énergie d'ionisation des atomes, par exemple, ou encore à l'énergie thermique des collisions intermoléculaires. Nous en tirerons ensuite les conclusions qui s'imposent. (Voir l'Encadré 12.)

Encadré 12



Calcul de l'énergie caractéristique d'une succussion homéopathique

L'énergie E_{succ} caractéristique d'une succussion homéopathique de n secousses s'obtient par la relation :

$$E_{\text{succ}} = nML^2\omega^2.$$

où $n = 100$ (si on prend les données fournies par *Homéodel* apparaissant dans l'Encadré 11) et où $M = 10\text{g}$ est la masse secouée, $L = 3\text{ cm}$ l'amplitude des secousses et $\omega = 2\pi \times 18/\text{s}$ la pulsation des secousses. Ce qui donne :

$$E_{\text{succ}} = (100)(0,01\text{ kg})(0,03\text{ m})^2(2\pi \times 18/\text{s})^2 = 12\text{ J}.$$

Ce n'est pas beaucoup d'énergie. Pour vous donner une idée, un kW-h d'énergie électrique coûte environ 7¢ au Québec et est égal à $3,6 \times 10^6\text{ J}$. L'énergie caractéristique de 100 secousses homéopathiques représente donc environ trois millièmes de kW-h ou $3 \times 10^{-6}\text{ kW-h}$. Si on plaçait nos 10g de solvant dans un four micro-onde de 500 W, il ne faudrait que 24 ms (!) pour fournir la même énergie. (Il est donc grand temps que les laboratoires homéopathiques se modernisent un peu en procédant à leurs succussions homéopathiques avec un four micro-onde qui secouerait leurs molécules d'eau à la formidable fréquence de 2,4 milliards d'oscillations/seconde — au lieu de leurs minables 18 secousses/seconde — et tout ça en un clin d'œil de 24 ms...)

Qu'arrive-t-il à cette énergie E_{succ} de 12 J une fois fournie au 10g d'eau servant de solvant ? Les multiples collisions intermoléculaires résultant de l'agitation thermique répartiront cette énergie à peu près également entre les molécules d'eau, qui s'agiteront un peu plus (en translation, en rotation et en vibration). Une calorie (ou 4,18 J) fournie à 1g d'eau augmente sa température de 1°C; 12 J (ou environ 3 calories) fournies à 10g d'eau augmenteront sa température d'environ 0,3°C.

Une mole d'eau pèse 18g. Ce qui signifie que dans 10g d'eau, le nombre de molécules est environ la moitié du nombre d'Avogadro, soit 3×10^{23} molécules. Si on répartit entre ces 3×10^{23} molécules, notre énergie E_{succ} de 12 J provenant de nos secousses, on obtient une énergie moyenne par molécule :

$$E_{\text{succ/mol}} = 4 \times 10^{-23}\text{ J/molécule}.$$

L'électronvolt (eV) qui vaut $1,6 \times 10^{-19}$ J est une unité d'énergie plus pratique pour exprimer les énergies en jeu au niveau moléculaire et atomique. Nous allons l'employer à partir de maintenant pour réécrire $E_{succ/mol}$ comme étant :

$$E_{succ/mol} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ eV/molécule.}$$

Un sixième de cette énergie sera utilisée par la molécule d'eau pour augmenter sa vitesse de translation suivant les 3 *degrés de liberté* relatifs aux 3 dimensions de l'espace. Les 5/6 restants serviront à exciter l'énergie de rotation et d'oscillation des trois atomes de la molécule H₂O. En tout, l'énergie $E_{succ/mol}$ se redistribuera au sein de la molécule à peu près également entre ses 18 *degrés de liberté*. Chaque *degré de liberté* recevant une énergie $E_{succ/mol/deg-lib}$ égale à :

$$E_{succ/mol/deg-lib} = (1/18)(2,5 \times 10^{-4}) \text{ eV/deg-lib} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ eV/deg-lib.}$$

C'est à ce dernier palier qu'on retrouvera répartie l'énergie originale E_{succ} de 12 J provenant de la succussion homéopathique.

On peut comparer cette énergie $E_{succ/mol/deg-lib}$ provenant de la succussion homéopathique avec l'énergie thermique par molécule $E_{therm/mol}$ déjà présente dans l'eau à 20°C (ou 293°K) :

$$E_{therm/mol} = \frac{1}{2} f k T$$

où f est le nombre de *degrés de liberté* de la molécule (18 dans le cas de la molécule H₂O) et où $k = 8,6 \times 10^{-5} \text{ eV/°K}$ est la *constante de Boltzmann*. Soit :

$$E_{therm/mol} = \frac{1}{2}(18)(8,6 \times 10^{-5} \text{ eV/°K})(293^\circ\text{K}) = 0,2 \text{ eV/molécule}$$

L'énergie $E_{succ/mol/deg-lib}$ est donc 14 000 (!) fois moindre que l'énergie thermique :

$$E_{succ/mol/deg-lib} = (7 \times 10^{-5}) E_{therm/mol}.$$

Si on compare maintenant cette énergie $E_{succ/mol/deg-lib}$ avec l'énergie E_{ion-H} de 13,6 eV qu'il faut fournir à un atome d'hydrogène pour l'ioniser (i.e. pour arracher son électron), on a

$$E_{succ/mol/deg-lib} = (10^{-6}) E_{ion-H}$$

soit un million (!) de fois moins que l'énergie d'ionisation de l'hydrogène.

L'énergie d'excitation $E_{excit-atome}$ des atomes est de l'ordre de l'eV. Celle d'excitation des molécules, $E_{excit-molécule}$, est de l'ordre de 0,1 eV. L'énergie $E_{succ/mol/deg-lib}$ provenant de la succussion est donc 70 000 fois inférieure à l'énergie d'excitation des atomes et 7 000 fois inférieure à celle des molécules.

Que conclure du calcul de l'Encadré 12 ?

Que la « dynamisation » homéopathique fournit

- à chaque *degré de liberté* de la molécule d'eau, 14 000 fois moins d'énergie que l'énergie thermique déjà présente et donc n'affecte pratiquement pas l'intensité des collisions entre les molécules;
- 7 000 fois moins d'énergie que celle requise en moyenne pour exciter une molécule,
- 70 000 fois moins d'énergie que celle requise en moyenne pour exciter un atome,
- et 1 000 000 fois moins d'énergie que celle requise pour ioniser un atome d'hydrogène.


La « *dynamisation* » provenant de la succussion homéopathique est donc au moins 7 000 fois trop faible, en terme d'énergie, pour « *imprimer* » quelque « *message* » que ce soit sous forme d'excitation (et encore moins d'ionisation) des atomes et des molécules présents.

Les succussions homéopathiques détruisent l'information

La relation de Shannon entre *information* et *entropie* va nous permettre de mesurer l'efficacité des procédés homéopathiques à inscrire une *information* dans la matière et à tester, par la même occasion, la réalité de ce *message homéopathique*.

On a vu dans la section précédente, que la succussion homéopathique avait pour effet d'augmenter de 0,3°C la température du solvant. C'est peu bien sûr mais — c'est le principe qui compte ici — en augmentant la température, on augmente en même temps l'entropie du solvant. Et qui dit augmentation d'entropie d'un système, dit en même temps diminution de l'information présente dans ce système. (Voir l'Encadré 13 pour le calcul de cette perte d'information.)

Encadré 13

 **Calcul de la perte d'information résultant de la *succussion***

Si on augmente d'une quantité ΔT la température d'une substance (solide, liquide ou gazeuse), on augmente d'une quantité ΔS l'entropie de cette substance selon la relation (Sears, 1950) :^[17]

$$\Delta S = mc_p \ln \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right)$$

où m est la masse de cette substance; c_p sa *chaleur spécifique à pression constante*; T la température initiale (en degrés kelvin) et où $\ln(x)$ est la *fonction logarithme népérien*. (Les calculatrices scientifiques ont une touche « ln x » ou « LN » permettant de calculer cette fonction.)

Dans le cas de la succussion homéopathique effectuée selon les données de l'Encadré 11, on aurait une masse $m = 0,01$ kg, la *chaleur spécifique de l'eau à pression constante* $c_p = 4,18 \times 10^3$ J/(kg · °K), une température initiale $T = 20^\circ\text{C}$ (ou 293°K) et une augmentation de température $\Delta T = 0,3^\circ\text{K}$. Ce qui donnerait, après une première dilution à 1 CH, une augmentation d'entropie $\Delta S_{1\text{CH}}$:

$$\Delta S_{1\text{CH}} = (0,01\text{kg}) [4,18 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{K})] \cdot \ln \left(1 + \frac{0,3^\circ\text{K}}{293^\circ\text{K}} \right) = 0,04 \text{ J}/^\circ\text{K}.$$

Cette augmentation $\Delta S_{1\text{CH}}$ de l'entropie s'accompagne d'une perte $\Delta I_{1\text{CH}}$ d'*information moléculaire* (exprimée en bits) selon la relation :

$$\Delta I_{1\text{CH}} = - \frac{\Delta S_{1\text{CH}}}{k \ln 2} = - \frac{0,04 \text{ J}/^\circ\text{K}}{(1,4 \times 10^{-23} \text{ J}/^\circ\text{K}) \times 0,69} = -4 \times 10^{21} \text{ bits} = -5 \times 10^{20} \text{ octets},$$

où $k = 1,4 \times 10^{-23}$ J/°K, est la constante de Boltzmann. Cette perte d'*information moléculaire* vient du fait qu'en augmentant la température, on augmente l'incertitude sur la distribution de vitesses des molécules ainsi que sur le nombre d'états accessibles par chacune des molécules.

Si on répète cette succussion à chaque dilution d'un CH, l'entropie augmentera d'autant. Rendu à 30 CH, c'est 30 fois cette information $\Delta I_{1\text{CH}}$ qui sera détruite :

$$\Delta I_{30\text{CH}} = 30 \Delta I_{1\text{CH}} = (30)(-5 \times 10^{20} \text{ octets}) \approx -1,5 \times 10^{22} \text{ octets}.$$

En informatique, on mesure la capacité de stockage de l'information en octets qui regroupent 8 bits. Par exemple, le disque dur de mon ordinateur a une capacité de 132 Go (132 gigaoctets ou $1,32 \times 10^{11}$ octets). On en fabrique aujourd'hui qui ont une capacité de 1 To (1 téraoctet ou 10^{12} octets). Ce qui signifie que la perte d'information résultant de la succussion homéopathique après une dilution à 30 CH, revient à effacer le disque dur d'au moins 15 milliards d'ordinateurs...

^[17] Remarquez la ressemblance entre cette relation et l'équation de Boltzmann $S = k \ln \Omega$. Ce n'est pas un hasard puisque cette relation dérive de l'équation de Boltzmann.

Ainsi, non seulement l'énergie provenant des succussions homéopathiques est-elle trop faible pour « imprimer » quelque « information » que ce soit sur les molécules du solvant mais ces succussions ont exactement l'effet contraire aux prétentions des homéopathes : au lieu de « transmettre ou d'imprimer un message », elles effacent plutôt une partie de l'information moléculaire déjà présente dans le solvant ! Et cette destruction est massive. L'équivalent d'effacer cinq fois le contenu du disque dur de TOUS les ordinateurs de la Terre.

Les dilutions homéopathiques aussi détruisent l'information

À l'Encadré 8, on montrait comment obtenir une dilution homéopathique de 1 CH en prenant 1 cm³ d'un soluté (contenant l'ingrédient actif) qu'on diluait ensuite dans 99 cm³ d'eau. Ce faisant, on augmentait l'entropie de notre soluté et on détruisait par le fait même de l'information moléculaire. Pourquoi ? Parce que la dilution augmente notre incertitude sur la position de chacune des molécules du soluté. Ainsi une molécule du soluté qu'on pouvait localiser avec certitude au départ comme étant à l'intérieur d'un certain volume de 1 cm³, se trouve, après dilution, à l'intérieur d'un volume 100 fois plus grand. Si on vous avait demandé de localiser cette molécule après dilution, vous n'auriez eu plus qu'une chance sur 100 de la localiser dans un certain volume d'un cm³. La dilution venait donc de vous faire perdre une information sur la position de cette molécule ainsi que sur toutes les autres molécules du soluté. Combien d'information a ainsi été perdue ? La réponse se trouve à l'Encadré 14.

Encadré 14



Calcul de la perte d'information résultant de la dilution

La dilution d'un soluté (contenant l'ingrédient actif) entraîne une augmentation de l'entropie du soluté, selon la relation (UCDavis, 2014) :^[18]

$$\Delta S = \alpha N_A k \ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V} \right)$$

où α est le nombre de moles du soluté, N_A le nombre d'Avogadro, k la constante de Boltzmann, V le volume occupé au départ par le soluté et ΔV l'augmentation du volume occupé par le soluté une fois dilué dans l'eau.

Suivant les données de l'Encadré 11, où $\alpha = (0,1\text{g}/18\text{g}) = 0,006$ mole, $V = 0,1$ cm³ et $\Delta V = 9,9$ cm³, l'augmentation d'entropie après une première dilution de 1 CH serait :

$$\Delta S_{1\text{CH}} = (0,006 \text{ mole})(6 \times 10^{23} / \text{mole})(1,4 \times 10^{-23} \text{ J}/^\circ\text{K}) \ln \left(1 + \frac{9,9 \text{ cm}^3}{0,1 \text{ cm}^3} \right) = 0,2 \text{ J}/^\circ\text{K}.$$

^[18] Même remarque qu'à l'Encadré 13 : La ressemblance entre cette relation et l'équation de Boltzmann $S = k \ln \Omega$, n'est pas le fruit du hasard...

Cette augmentation ΔS_{1CH} de l'entropie s'accompagne d'une perte ΔI_{1CH} d'information (exprimée en bits) selon la relation :

$$\Delta I_{1CH} = - \frac{\Delta S_{1CH}}{k \ln 2} = - \frac{0,2 \text{ J/}^\circ\text{K}}{(1,4 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}) \times 0,69} = -2 \times 10^{22} \text{ bits} \approx -3 \times 10^{21} \text{ octets.}$$

La perte d'information résultant d'une *dilution* de 1 CH revient donc à effacer l'équivalent du disque dur d'au moins 3 milliards d'ordinateurs.

À chaque dilution d'un CH supplémentaire, l'entropie augmente, mais 100 fois moins vite qu'à la dilution précédente puisque le nombre de mole de l'ingrédient actif est 100 fois moindre à chaque étape. Ce qui fait que même après une série de 30 dilutions homéopathiques successives, l'entropie finale n'aura augmenté guère plus de 1% par rapport à l'augmentation d'entropie résultant de la première dilution. En fait, cette entropie aura même cessé d'augmenter à partir de 12 CH puisqu'il ne restera déjà plus une seule molécule de l'ingrédient actif à diluer rendu là. La perte cumulative d'information $\Delta I_{>12CH}$ subie, au-delà de 12 CH sera donc :

$$\Delta I_{>12CH} = (1,01)(-3 \times 10^{21} \text{ octets}) \approx \Delta I_{1CH} = -3 \times 10^{21} \text{ octets.}$$

Le gros de la perte d'information s'est donc produit dès la première dilution.

Pour illustrer la perte d'information résultant d'une dilution, imaginez que vous tracez un trait noir sur une feuille blanche avec un crayon à mine de graphite. En déposant ainsi des atomes de carbone sur la feuille, vous venez d'inscrire une *information moléculaire* sur celle-ci. Cette information vient du fait que les atomes de carbone de votre trait de crayon ne sont pas éparpillés au hasard mais concentrés en des endroits précis sur la feuille, formant même un certain alignement. La *signification* de ce trait de crayon n'a aucune importance en ce qui concerne l'*information*. L'important ici c'est de voir que la distribution des atomes de carbone n'est pas aléatoire mais présente une configuration particulière. Il y a peu de chance d'obtenir cette configuration en lançant une pincée de poudre de carbone en l'air. Si maintenant vous prenez une efface et gomez votre trait de crayon, vous dispersez les atomes de carbone. Ceux-ci se répandent aléatoirement sur la feuille (et même à côté). Vous venez ainsi d'augmenter le « désordre » (ou l'entropie) de votre trait de crayon, comme si vous l'aviez « dilué ». Et vous avez effacé par le fait même l'*information moléculaire* qui était présente sur votre feuille de papier.

La perte d'information résultant d'une *dilution homéopathique* 30 CH est 5 fois moindre que celle résultant de la *succussion*. Mais c'est quand même l'équivalent d'effacer le disque dur de près de 3 milliards d'ordinateurs. Soit pratiquement TOUS les ordinateurs de la Terre...

Un message écrit avec ... une efface

Rien dans les procédés homéopathiques de succussion ou de dilution ne va dans le sens d'une *réduction locale* de l'entropie de l'eau ou du soluté, nécessaire à l'inscription d'un *message* dans la matière. Au contraire, comme on vient de le voir, ces deux procédés ont plutôt pour effet d'augmenter l'entropie du soluté et donc d'effacer massivement l'*information moléculaire* déjà présente. Nous voilà donc placés devant le paradoxe suivant : pour inscrire un *message*, les homéopathes utilisent un procédé ayant pour effet ... d'effacer de l'*information*. C'est comme si vous décidiez d'écrire sur une feuille de papier à l'aide d'une efface plutôt qu'un crayon. Pas sûr que ce soit la façon la plus intelligente d'écrire un message...

De plus, comme aucun homéopathe ne peut donner une *définition opérationnelle* de ce *message homéopathique*, de façon à ce que l'on puisse mesurer — en bits ou en $J/^\circ K$ — l'*information* qu'il contiendrait, celui-ci se trouve donc exclu par le fait même du domaine physique. On le retrouvera sans doute quelque part ailleurs dans le domaine magique.

Mais sûrement pas dans un granule homéopathique.

Si l'année 1908 — où Perrin a déterminé la dimension des atomes — a été une année marquante dans l'histoire de l'homéopathie, celle de 1948 — où Shannon a établi le lien entre *information* et *entropie* — l'aura été tout autant.

C'est à compter de cette année-là, en effet, que les homéopathes — du moins ceux qui ont continué de prétendre à la réalité physique de ces *messages homéopathiques* — sont tous officiellement devenus des imposteurs...

Références

- Aulas J.J. (1985) et al., *L'Homéopathie, approche historique et critique, et évaluation critique de ses fondements empiriques et de son efficacité thérapeutique*, Éd. Médicales Roland Bettex, Paris/Lausanne 1985.
- Colin P. (2007), *Physique quantique et homéopathie*, Actes du congrès d'Amiens de mai 2007, obtenu sur le site <http://www.homeophilo.fr/v1/textes/physique-quantique-et-homeopathie.pdf>
- Feynman R. P. (1985), *QED (Quantum Electrodynamics), The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press.
- Hahnemann S. (1827), *Lesser Writings*, textes recueillis et traduits de l'allemand par R.E. Dudgeon, M.D., Éd. William Rade, (1852), obtenu sur le site <https://archive.org/download/64310190R.nlm.nih.gov/64310190R.pdf> (Les extraits cités apparaissent aux pages 731 à 733 et auraient été écrits originellement en 1827.)
- Halm R.-P. (2011), *Homéopathie : Examen critique des attitudes et stratégies des pourfendeurs à la lumière de l'évolution de cette discipline et des nouvelles données de la recherche*, publié (apparemment vers la fin de 2011) sur le site www.entretiens-internationaux.mc/medias/pdf/pdf_news/homeopathie-et-pourfendeurs.pdf

- Ho M.-W. (2010), *Cooperative and Coherent Water*, ISIS Report 2010-09-27, obtenu sur le site www.i-sis.org.uk/cooperativeCoherentWater.php
- Lévy-Leblond J.-M.(1984) & Balibar F., *Quantique : Rudiments*, InterÉditions, Paris, 1984
- Milgrom L. R. (2008), *A new geometrical description of entanglement and the curative homeopathic process*, J. Altern. Complement Med. 2008 Apr.14(3) 329-39, obtenu sur le site www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18399761
- Perrin J. (1909), *Le mouvement brownien et la réalité moléculaire*, Ann. Chim. Phys. 18 (8è Série) 5-114 (1909)
- Planck M. (1900), *Über eine Verbesserung der Wien'schen Spectralgleichung*, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2 (1900), 202-204. réédité en anglais dans PAV (réf.19), Vol 1, pp 687-689, trad. par Haar D. et Brush S.G. sous le titre *Planck's Original Papers in Quantum Physics*, Éd. Taylor and Francis, London 1972.
- Reeves H. (1986), *L'heure de s'enivrer. L'univers a-t-il un sens ?*, Éd. du Seuil, Paris, 1986
- Sears F. W. (1950), *Thermodynamics, the kinetic theory of gases, and statistical mechanics*, Addison-Wesley. Second edition, Reading, US-MA, 1964
- Shannon C.E. (1948) *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, Vol 27, pp. 379-423, July-October 1948.
- UCDavis (2014), University of California at Davis, *Thermodynamics of Mixing and Dilution*, obtenu sur le site http://chemwiki.ucdavis.edu/Wikitexts/Simon_Fraser_Chem1%3A_Lower/Thermodynamics_of_Chemical_Equilibrium/Thermodynamics_of_Mixing_and_Dilution
- Weingärtner O. (2007), *The nature of the active ingredient in ultramolecular dilutions*, Homeopathy (2007), 96, p220-226, publié sur le site www.sciencedirect.com.