

Aspects quantiques du sens de l'odorat

14ème Symposium International d'Aromathérapie et de Plantes Médicinales

Prof. Marc HENRY, Université de Strasbourg, e-mail : henry@unistra.fr

Introduction:

Tous les organismes ont mis en place au cours de leur évolution un mécanisme pour reconnaître les informations sensorielles en provenance de l'environnement et transmettre ces informations au cerveau afin qu'il produise une représentation interne du monde extérieur. Chez les humains, l'odorat est souvent considéré comme un sens esthétique, un sens capable d'évoquer des pensées et des mémoires fortes. L'odorat est cependant un sens primordial car il permet à la plupart des êtres vivants de détecter la nourriture, les prédateurs ainsi que les partenaires sexuels. L'odorat est la modalité sensorielle centrale par laquelle les organismes communiquent avec leur environnement. Les êtres humains sont ainsi capables de reconnaître des centaines de milliers d'odeurs différentes, ce qui soulève le problème fascinant de la reconnaissance moléculaire et de la discrimination perceptive des odeurs. Dans l'olfaction l'information sensorielle semble extrêmement bien définie sous la forme de structures moléculaires chimiques extrêmement précises. De ce fait l'information sensorielle est généralement considérée comme étant beaucoup plus simple que l'information visuelle qui consiste en une série de contours, de textures, de couleurs, de mouvements et de formes créant un enchevêtrement extraordinairement complexe. La représentation d'une image olfactive est donc beaucoup plus simple se réduisant au problème de savoir comment des structures chimiques bien définies sont représentées à l'intérieur du cerveau.

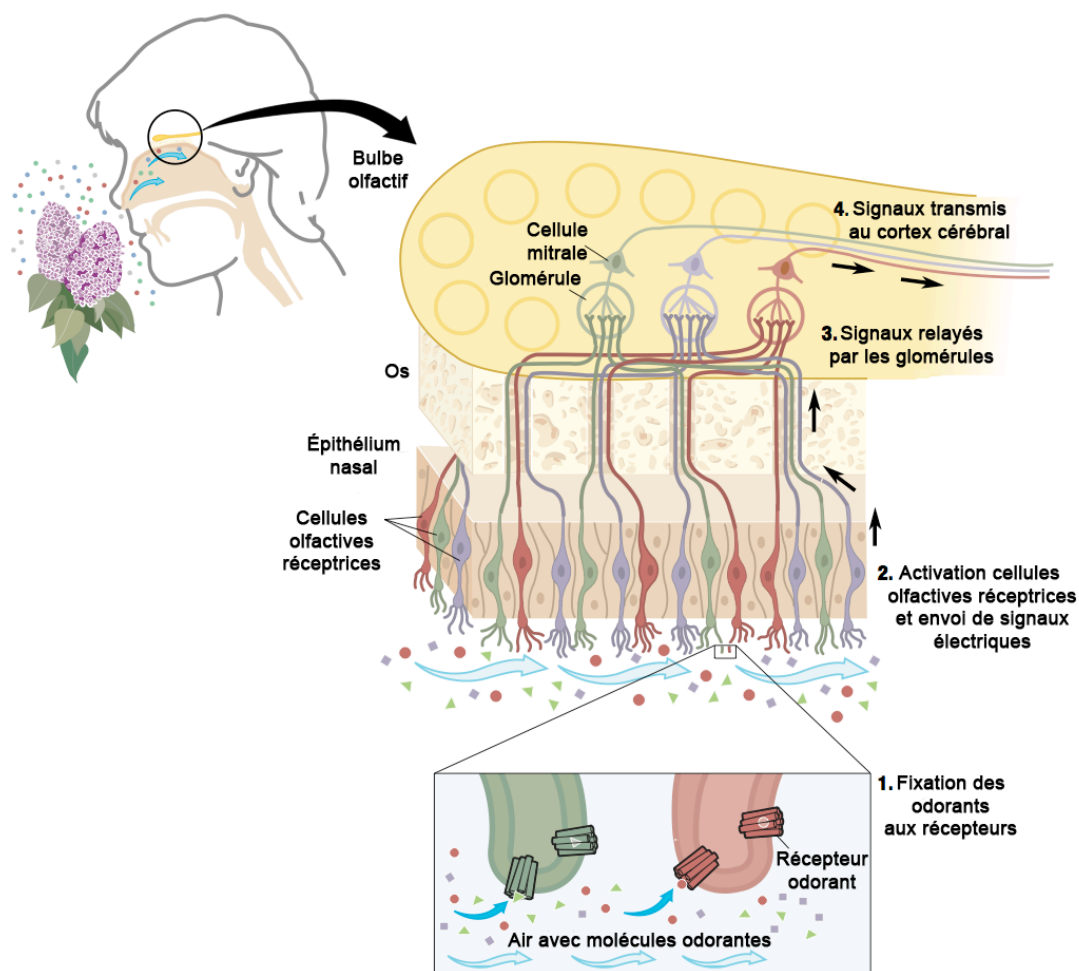


Figure 1: Structure physiologique associée au sens de l'odorat chez l'être humain.

Concernant le sens de l'odorat, les molécules odoriférantes sont en premier lieu détectées par les neurones du système olfactif qui sont localisées dans l'épithélium olfactif couvrant la cavité nasale (figure 1). Ces neurones transmettent les signaux au bulbe olfactif dans le cerveau, qui les relayent vers le cortex olfactif. L'épithélium olfactif contient ainsi des millions de neurones sensoriels, et chaque neurone communique avec le cerveau via un seul axone qui plonge dans le bulbe olfactif. En 1988 Richard Axel et Linda Buck, prix Nobel de physiologie et de médecine en 2004, partirent à la recherche des gènes codant pour les protéines réceptrices des molécules odoriférantes supposées être localisées de manière exclusive dans l'épithélium olfactif. Par clonage moléculaire, ils trouvèrent en 1989 environ 20 récepteurs olfactifs (RO) tous couplés à des protéines G (figure 2) et tous distribués de manière aléatoire au sein de l'épithélium nasal, chaque neurone exprimant un seul gène RO.

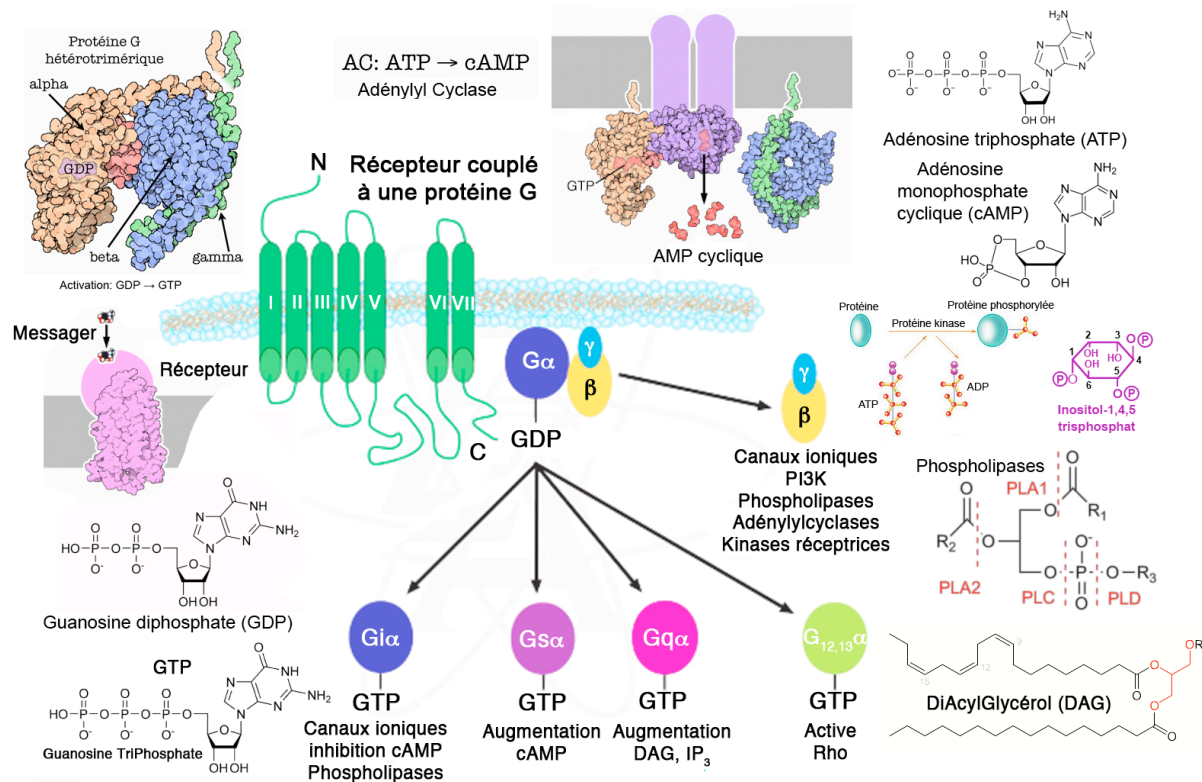


Figure 2: Les récepteurs de l'odorat (347 chez l'homme) appartiennent à la classe des protéines hétérotrimériques fonctionnant au GTP (protéines G) qui sont des protéines transmembranaires qui transmettent les signaux extracellulaires vers l'intérieur de la cellule. Tous les récepteurs couplés aux protéines G se caractérisent par un motif structural commun fait de sept segments enchâssés dans la membrane cellulaire. La liaison d'une molécule sur le récepteur provoque une association de ce dernier avec une protéine G intracellulaire et induit un échange $GDP \rightarrow GTP$ au sein de la sous-unité α de la protéine G provoquant la dissociation de l'hétérodimère $\beta\gamma$. Selon la nature de sous-unité α activée au GTP, il y a activation intracellulaire indirecte via une adénylyl cyclase (AC) produisant de l'AMP cyclique ou une phospholipase C produisant un diacylglycérol (DAG) ou encore une activation directe via la régulation d'un canal ionique ou d'une fonction kinase.

Comme le montre la figure 3, chaque RO peut reconnaître de multiples molécules odoriférantes et chaque molécule odoriférante peut être détectée par plusieurs RO entraînant que des molécules odoriférantes différentes sont reconnues par des combinaisons différentes de RO et non par un seul récepteur. Selon les lois du calcul combinatoire, le nombre total de combinaisons associées à une ensemble de n cases est 2^n , soit avec $n = 347$ RO une possibilité de coder $2^{347} \approx 10^{105}$ molécules odoriférantes. Pour mémoire, il est bon de rappeler

que le nombre de particules élémentaires dans l'univers tout entier n'est que de l'ordre de 10^{80} ... En 1999, on découvre que le deuxième niveau de représentation des odeurs est de nature «topographique» puisque tous les messages provenant des neurorécepteurs olfactifs exprimant un récepteur donné convergent vers un seul glomérule du bulbe olfactif. L'image brute d'une odeur est ainsi formée par l'ensemble unique des glomérules qui correspondent aux récepteurs de cette odeur. Le troisième niveau est une représentation neuronale qui résulte de la transformation, par deux réseaux de neurones superposés, de l'image brute gloméculaire en une forme épurée, stabilisée, réduite à ses contours. A partir de ce idéogramme symbolique, l'odeur devient perception consciente au niveau du néocortex frontal sus-orbitaire sous la forme d'une représentation cognitive intégrant des informations multisensorielles, sémantiques et hédoniques, que l'on peut visualiser grâce à l'imagerie cérébrale fonctionnelle.

		RÉCEPTEUR OLFACTIF															
ODORANT		1	3	6	18	19	25	41	46	50	51	79	83	85	86		ODEUR
Acide hexanoïque																	Rance, âcre, chèvre
Hexanol																	Doux, herbal, boisé
Acide heptanoïque																	Rance, âcre, sueur
Heptanol																	Violette, doux, boisé
Acide octanoïque																	Rance, âcre, répulsif
Octanol																	Doux, orange, rose
Acide nonanoïque																	Cire, fromage, noix
Nonanol																	Frais, rose, huile florale

Figure 3: Des molécules odoriférantes de structures chimiques proches sont perçues avec des odeurs différentes grâce à l'activation une combinaison spécifique de récepteurs olfactifs.

C'est ainsi qu'en un peu plus d'une soixantaine d'années de recherches menées par quelques 400 équipes l'olfaction n'est plus tout à fait le sens à part quelque peu mystérieux, voire archaïque et même un peu magique, vantés par certains aromathérapeutes ou aromachologues. Sous les coups de boutoir de l'électrophysiologie puis de la biologie moléculaire, l'olfaction semble donc fonctionner exactement comme tous les autres sens avec des récepteurs moléculaires activant trois niveaux superposés de représentation dans les régions périphériques du cerveau et un étage final d'intégration dans les centres supérieurs.

Le paradigme clé-serrure

La figure 4 illustre de manière surréaliste les cinq sens humains (vue, ouïe, goût, odorat et toucher). La première chose qui saute aux yeux est l'énorme différence qui existe entre le nombre de récepteurs olfactifs (347) et le nombre de récepteurs du goût (29), de la vue (3), de l'ouïe (0) ou du toucher (0). Cette figure illustre aussi le paradigme chimique actuel selon lequel il est possible d'associer une odeur à un type de structure chimique. Selon la théorie combinatoire évoquée plus haut il ne serait possible de coder qu'un milliard de molécules pour le goût contre un nombre virtuellement infini pour l'odorat. Le fait qu'il ne faille que 3 récepteurs pour la vue s'explique aisément par le fait que la lumière est une onde électromagnétique et qu'une infinité de couleurs peuvent être générées dans le cerveau via la

combinaison de trois couleurs lumière (rouge, vert et bleu) ou de trois couleurs matière (cyan, magenta, jaune) en proportions variables. Cette débauche de RO aurait-elle pour but de pouvoir coder le végétal ou l'animal tout entier via son odeur et non simplement un goût dominant pour distinguer la nourriture saine de celle potentiellement toxique? En terme de survie il peut être utile de savoir de manière immédiate si l'animal qui s'approche est un lion affamé ou un simple chat inoffensif. De même si l'odeur code l'individu tout entier, il devient possible de reconnaître sans erreur sa progéniture ou son partenaire sexuel favori... Si tel est bien le cas, la théorie chimique de l'odorat ne peut pas tenir la route car il faudrait agir de manière synchrone sur tous les récepteurs pour pouvoir avoir une réponse immédiate. Même en admettant que cela soit possible, comment expliquer qu'un même récepteur soit sensible à des molécules de taille et de formes différentes?

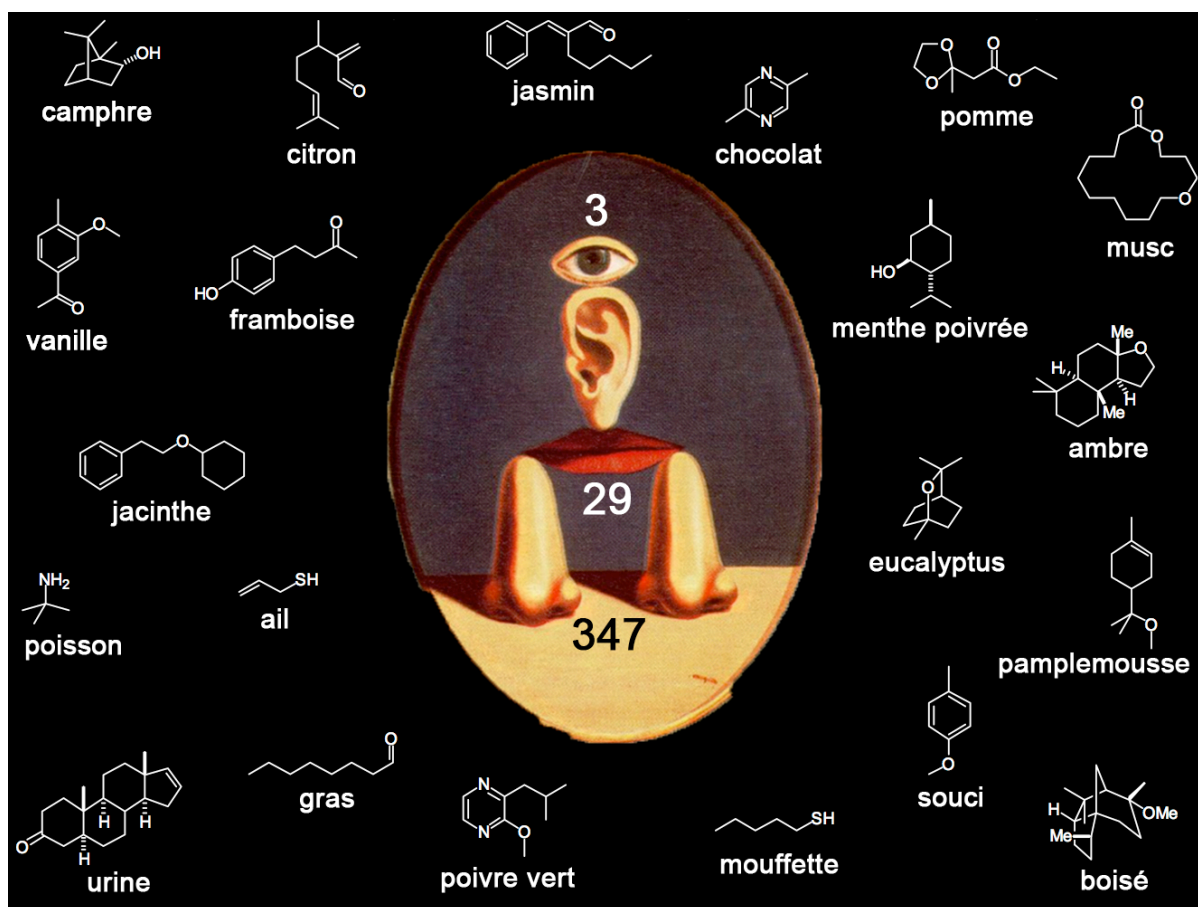


Figure 4: Le sens de l'odorat (nez) est celui qui nécessite le plus de récepteurs chimiques puisque le sens du goût (bouche) n'implique que 29 récepteurs et que celui de la vue (yeux) n'en utilise que 3. Les sens de l'ouïe (oreille) et du toucher (peau) quant à eux ne fonctionnent pas de manière chimique mais plutôt de manière physique en transformant les ondes mécaniques (ouïe, peau) ou infrarouge (peau) en signaux neuronaux sans médiateurs chimiques. On représente aussi sur cette figure le lien qui a pu être établi entre une structure chimique et une odeur particulière. Au centre une image surréaliste des 5 sens humains extraite de l'œuvre de René Magritte intitulée «La Race Blanche» (1937).

En effet, selon le dogme «clé-serrure» de la biologie moléculaire introduit en 1894 par le chimiste allemand Emil Fisher (Fisher 1894), il doit y avoir reconnaissance moléculaire en terme de forme et de taille entre le récepteur et la molécule messagère pour qu'un signal intracellulaire soit généré (figure 5). Bien évidemment, comme un même RO réagit à

plusieurs messagers (figure 3), ce dogme «clé-serrure» est complètement inutile. De même l'idée selon laquelle il est possible d'associer une odeur à une forme chimique particulière (voir figure 4) est peu crédible lorsque l'on sait que pas moins de 75 molécules différentes, l'une d'elles n'ayant que trois atomes alignés (acide cyanhydrique HCN), sont capables de générer la même odeur d'amandes amères.

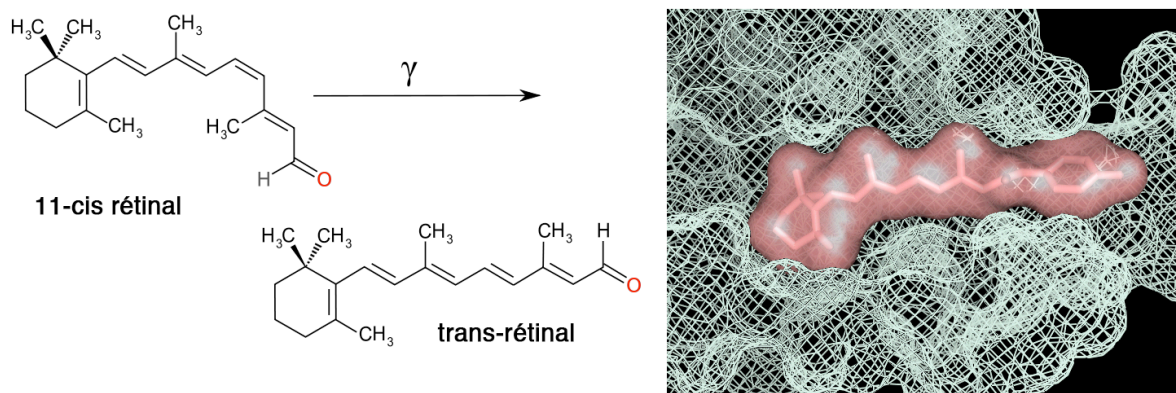


Figure 5: Paradigme «clé-serrure» et sens de la vue. Sous l'influence d'un photon lumineux la molécule 11-cis-rétinal peut s'isomériser en forme trans pour venir s'insérer dans une opsine couplée à une protéine G. Seule la forme trans est reconnue par l'opsine et permet de produire un signal électrique dans le nerf optique. On sait qu'un tel mécanisme de reconnaissance moléculaire en terme de forme et de taille ne peut s'appliquer au sens de l'odorat puisqu'un même RO peut être activé par de multiples ligands présentant des tailles et des formes différentes.

La figure 6 montre un autre exemple où il est très difficile d'invoquer le paradigme clé-serrure pour le sens de l'odorat. Ce paradigme est également clairement mis en défaut lorsque l'on compare deux molécules aussi différentes que les mercaptans (R-SH) et les boranes (B_nH_m) qui ont pourtant des odeurs très similaires. En fait, il est bon de rappeler que ce paradigme clé-serrure a été imaginé à la fin du dix-neuvième à une époque où triomphait la vision classique et mécanique du monde physique. Or, dans ce cadre classique, les notions de forme et de taille jouent un rôle essentiel et l'énergie varie de manière continue, ce qui fait que toute action peut être a priori obtenue même si la source d'énergie est extrêmement faible car il suffit alors d'attendre suffisamment longtemps.

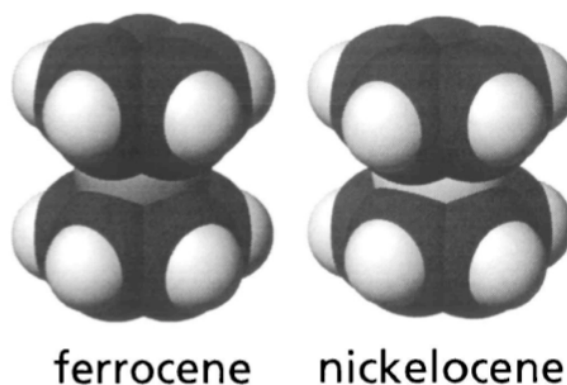


Figure 6: Le ferrocène et le nickelocène sont deux molécules de taille et de forme parfaitement identiques et devraient donc générer la même odeur dans le cadre d'une reconnaissance moléculaire de type clé-serrure. Pourtant le ferrocène génère une odeur camphrée alors que le nickelocène génère une odeur d'hydrocarbure. D'après Turin (1996).

Sens de l'odorat et physique quantique

Si l'on se place maintenant dans le cadre de la physique quantique, les particules deviennent des objets flous sans forme ni limite en raison de la dualité onde-corpuscule. Les lecteurs non familiers avec la théorie quantique pourront se reporter à l'annexe technique qui résume ce qu'il est important de savoir en ce domaine. La physique quantique nous apprend en effet qu'un objet quantique ne doit plus être vu comme une masse ayant une extension spatiale finie se déplaçant avec une vitesse v et une énergie E , mais plutôt comme une vibration spatio-temporelle de longueur d'onde $\lambda = h/mv$ et de fréquence $E = h \cdot \nu$ possédant un angle de phase ϕ . Cette onde-corpuscule remplit de sa présence tout l'univers et il n'existe nul point qu'elle ne puisse atteindre, aussi éloigné soit-il. Les atomes qui emprisonnent dans des puits de potentiel les particules quantiques élémentaires que sont les quarks, les électrons, les photons, les neutrinos, etc... se caractérisent par tout un spectre de fréquences qui peuvent être indexées au moyen de nombres entiers et non plus au moyen de nombres réels comme en physique classique. Autrement dit, l'énergie se trouve sous forme quantifiée et ne plus être échangée que sous la forme de paquets appelés «quanta». Il est de même des molécules qui sont formées par assemblage d'atomes et qui présentent non seulement tout un spectre de fréquence associé au mouvement des électrons autour des noyaux localisé dans la partie UV-Visible du spectre électromagnétique, mais également tout un spectre de fréquence associé au mouvement des atomes liés entre eux chimiquement (vibrations et rotations) localisé dans la partie infrarouge du spectre électromagnétique. Dans ce cadre, le paradigme clé-serrure devient complètement inutile et toute action biochimique revient à chercher des résonances possible entre les fréquences caractéristiques du récepteur et celles caractéristiques de la molécule à bas poids moléculaire (< 400 Da) qui se trouve à l'intérieur du récepteur. On doit au chercheur Luca Turin (Turin 1996), un modèle quantique du sens de l'odorat représenté schématiquement en figure 7.

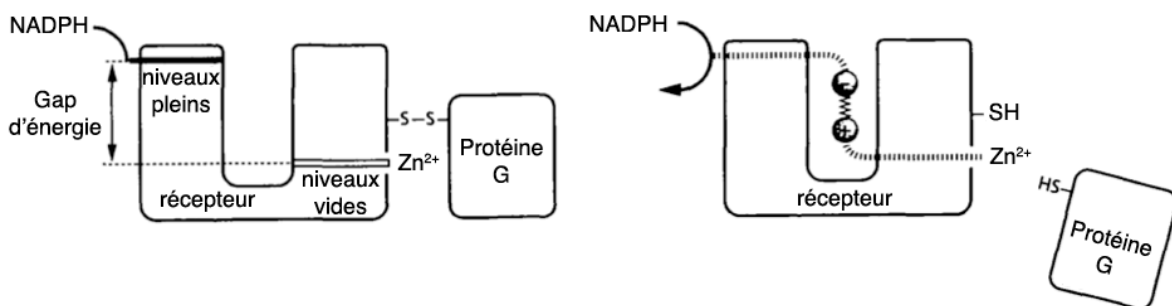


Figure 7: Mécanisme de transduction quantique pour les RO. Lorsque la cavité réceptrice est vide (à gauche), les électrons en provenance d'un donneur d'électrons comme la molécule de NADPH et un pont disulfure accepteur ne peuvent franchir le gap d'énergie ΔE existant entre les niveaux donneurs et accepteurs. En revanche si une molécule se trouve à l'intérieur du récepteur (dipôle élastique à droite), les électrons peuvent passer par effet tunnel si l'une des fréquences de vibration ν de la molécule correspond au gap d'énergie ΔE , selon la relation fondamentale de la physique quantique $\Delta E = h \cdot \nu$, où h est la constante de Planck. Dans ce cas l'électron perd son énergie au bénéfice de la molécule qui passe dans un état vibrationnel excité. Le passage des électrons par cet effet tunnel permet la réduction du pont disulfure via un ion zinc médiateur, ce qui permet de relâcher une protéine G. Le reste de la transduction peut alors se dérouler comme représenté en figure 2. Sur le plan physique, ce mécanisme original correspond à une spectroscopie électronique inélastique par effet tunnel.

L'idée générale est que les transferts d'électrons sont très fréquents en biologie et souvent bloqués par la quantification des niveaux d'énergie. Lorsqu'une molécule se trouve piégée au sein du récepteur, elle peut via ses niveaux énergétiques de vibration faciliter le passage des électrons par effet tunnel en abaissant la barrière de potentiel à franchir. Dans ces conditions, le récepteur chimique ne fonctionne pas comme un sélecteur de taille et de forme mais plutôt comme un spectroscope qui réagit à une certaine bande de fréquence Δv . Toutefois, au lieu de balayer en fréquence comme un spectroscope, le système biologique assure la couverture de l'ensemble du domaine des énergies vibrationnelles par une série de récepteurs réagissant chacun à une bande de fréquence différente. Avec une puissance réductrice biologique de l'ordre de 500 mV et sachant qu'une différence d'énergie de 1 eV correspond à 8086 cm^{-1} , il faut une gamme de nombre d'ondes allant jusqu'à 4000 cm^{-1} , c'est-à-dire jusqu'au proche infrarouge ($1 \leq \lambda \leq 10 \text{ }\mu\text{m}$). Côté basse fréquence, la détection sera limitée par l'agitation thermique qui, pour une température de $37^\circ\text{C} = 310 \text{ K}$ et de la correspondance $1 \text{ K} = 0,7 \text{ cm}^{-1}$, impose un nombre d'onde supérieur à 200 cm^{-1} , c'est-à-dire qui exclue l'infrarouge lointain ($\lambda \geq 100 \text{ }\mu\text{m}$). Par conséquent, avec 347 récepteurs différents et un gamme de nombres d'ondes allant de 200 à 4000 cm^{-1} , le pouvoir de résolution spectroscopique du nez serait de $3800/347 = 11 \text{ cm}^{-1}$, valeur du même ordre de grandeur que la largeur de raie maximale naturelle des raies infrarouge ($\approx 5 \text{ cm}^{-1}$). Le fait d'invoquer la présence de NAD(P)H comme donneur d'électrons provient de la présence d'une séquence Gly-Leu-Gly-Leu-Leu-Ala trouvée dans tous les RO et caractéristique de l'existence d'un site de liaison pour les molécules, de type NAD(P)H. De même le fait d'identifier l'ion Zn^{2+} comme relais électronique vers un pont disulfure accepteur d'électrons (figure 8) assurant la liaison de la protéine G au RO est liée à l'existence d'une séquence Cys-Gly(Ala,Thr,Val)-Ser-His-Leu(Ile) trouvée dans tous les RO à proximité de la séquence codant pour le site de liaison de la molécule NAD(P)H et qui correspond à un site de liaison de l'ion Zn^{2+} dans l'insuline.

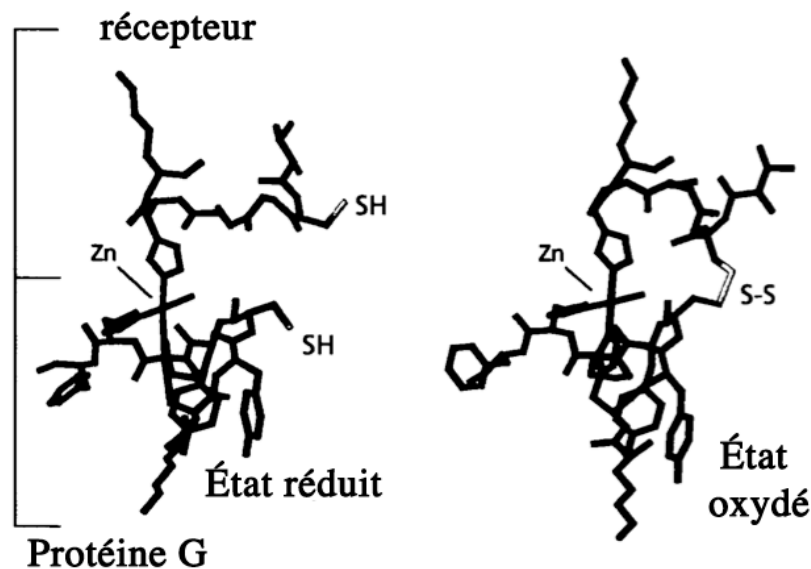


Figure 8: Simulation de l'accrochage d'une protéine G caractérisée par une séquence d'acides aminés de type His-Tyr-Cys-Tyr-Pro-His avec un RO caractérisé par une séquence Thr-Cys-Gly-Ser-His-Leu.

Ce rôle du zinc dans la perception olfactive est en accord avec l'observation qu'une anosmie totale mais complètement réversible est observée chez les personnes qui souffrent

d'un déficit en zinc dans leur alimentation ou qui sont traitées par l'histidine, les thiocarbamides ou le captopril.

L'avantage de ce mécanisme quantique de perception des odeurs est qu'il explique aisément l'absence de sélectivité en termes de formes et de tailles des RO. Il explique aussi facilement l'absence d'odeur des molécules homoatomiques dinucléaires, comme le dihydrogène, le diazote et le dioxygène qui n'ont pas de moments dipolaires et qui ne peuvent donc pas être excités via un rayonnement infrarouge. La similitude d'odeurs (ail, chou pourri) entre mercaptans, selenomercaptans, telluromercaptans (RS-H, RSe-H, RTe-H) ayant une bande d'étirement vers 2550 cm^{-1} et boranes présentant une bande d'étirement (B-H) vers 2600 cm^{-1} est aussi clairement en faveur de ce mécanisme quantique. L'existence d'anosmie congénitale pour les mercaptans ou les amines ($\approx 3300\text{ cm}^{-1}$) est aussi en faveur du fonctionnement quantique du nez. En effet, si c'est la forme qui détermine l'odeur il est assez difficile de comprendre comment une seule mutation génétique pourrait supprimer un grand nombre de RO tout en n'affectant qu'une seule classe d'odeurs. De même le fait que le ferrocène et le nickelocène de taille et de forme très proches génèrent deux odeurs différentes ne surprend plus lorsque l'on sait que la fréquence de vibration du métal pris en sandwich entre les deux cycles aromatiques est de 478 cm^{-1} pour le ferrocène contre 355 cm^{-1} pour le nickelocène.

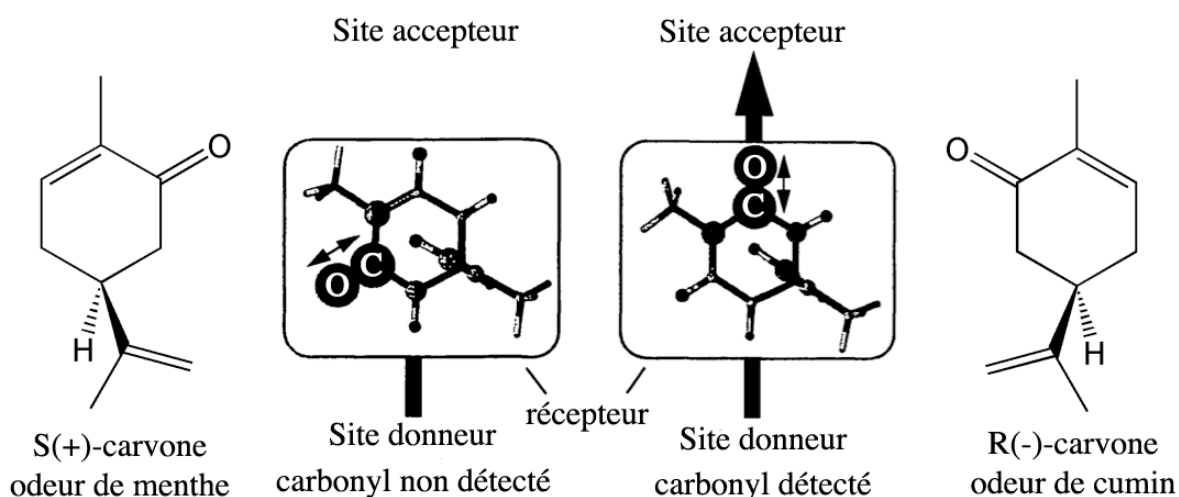


Figure 9: Représentation de la liaison de deux énantiomères d'une même molécule avec un RO. Dans les deux cas, le groupement isopropényle est représenté comme pointant vers le haut du plan du dessin, ce qui met en évidence la différence d'orientation des deux groupements carbonyle liaison présentant le caractère dipolaire le plus marqué par rapport au trajet des électrons qui doivent aller du bas vers le haut. Le fait que le groupement odorophore C=O de la S-carvone vibre à 90° du trajet électronique, expliquerait que cette vibration bien que présente ne serait pas active alors que même vibration serait active pour la R-carvone qui est aligné avec ce même trajet.

Cette théorie du fonctionnement quantique du sens olfactif est cependant loin de faire l'unanimité à l'heure actuelle. L'objection la plus fréquente avancée par les défenseurs du dogme clé-serrure concerne le cas de la carvone qui existe sous deux formes énantiomères présentant des odeurs très différentes (figure 9) en dépit de deux spectres de vibration présentant des fréquences rigoureusement identiques. Cette objection n'est pas valable pour deux raisons. La première est qu'il existe un grand nombre de paires d'énantiomères qui présente exactement la même odeur, ce qui met le paradigme clé-serrure dans l'embarras. La

deuxième est que pour que l'effet tunnel soit bien assisté, il faudrait en plus d'une résonance en fréquence que le mouvement de vibration des atomes soit aligné avec le mouvement des électrons qui se déplacent du site donneur vers le site accepteur (voir figure 9). Si l'on tient compte de cet effet de polarisation, une paire d'énantiomères qui possèdent exactement le même spectre de fréquences peuvent très bien avoir soit la même odeur si le groupement odorophore est correctement orienté pour les deux énantiomères, soit une odeur différente si l'un des groupements odorophore est bien orienté pour l'un et mal orienté pour l'autre. Une autre objection est que le nez est un organe qui n'a rien à voir avec un spectromètre basé sur l'effet tunnel. Cette objection a été aussi levée par une étude théorique montrant que mécanisme de transfert électronique par effet tunnel assisté par couplage électron-phonon (les phonons sont les particules quantiques associées aux vibrations mécaniques, tout comme les photons sont les particules quantiques associées aux vibrations électromagnétiques) était parfaitement compatible avec des conditions biologiques (Brookes & al., 2007). Enfin, une autre étude (Takane & Mitchell, 2004) a pu montrer qu'un descripteur basé sur le spectre infrarouge des molécules odoriférantes permettait une meilleure discrimination des odeurs qu'un descripteur basé sur la forme et la taille de ces mêmes molécules.

En fait le test le plus crédible pour la théorie quantique de l'odorat consiste à montrer que la deutération d'une molécule change considérablement son odeur. En effet, les isotopomères ont cette particularité qu'ils possèdent exactement la même taille et la même forme. Dans le cadre du paradigme clé-serrure cela signifie qu'une molécule doit avoir la même odeur qu'elle soit deutérée ou non. Ceci n'est pas vrai pour le nez quantique qui sera extrêmement sensible à la deutération, car les fréquences de vibrations sont très sensibles à la masse des atomes. La deutération doublant la masse de l'atome d'hydrogène, les fréquences se trouvent fortement abaissées et l'odeur ne peut donc plus être la même. Des tests psychophysiques ont ainsi été réalisés sur l'homme dans des conditions de double aveugle en faisant respirer soit de l'acétophénone (ACP), soit la même molécule complètement deutérée (ACP-d₈). Les résultats obtenus ont montré que les participants étaient incapables de distinguer entre les deux isotopomères dans une grande gamme de concentration (Keller & Vosshal, 2004). Bien évidemment, comme la réponse humaine aux odeurs est un phénomène qui met en jeu des mécanismes psychologiques difficiles à maîtriser, l'expérience a très récemment été refaite (figure 10) avec des mouches (*drosophila melanogaster*) qui ont un sens olfactif très développé et peuvent être entraînées à fuir une odeur particulière (Franco & al. 2011). Ainsi, mises en présence d'isopropylmyristate (IPM) ou d'acétophénone (ACP) les mouches choisissent systématiquement de se diriger vers le conduit contenant l'ACP. Toutefois dès que l'on deutère partiellement l'ACP les mouches sont perturbées dans leur choix et l'on se rapproche d'une distribution égale entre les deux conduits. En revanche, mises en présence d'un produit compétement deutéré (ACP-d₈) les mouches se réfugient en majorité vers le conduit IPM qu'elles évitait auparavant. De même si l'on met ACP-d₈ dans un conduit et ACP dans l'autre, un grand nombre de mouches fuient la molécule deutérée. Le même résultat est obtenu en remplaçant l'acétophénone par du 1-octanol hydrogéné ou totalement deutéré. Les drosophiles peuvent également être entraînées à fuir de manière sélective une fréquence de vibration donnée. Le test consiste ici à prendre deux molécules, l'une complètement deutérée d₁₇-OCT et l'autre hydrogénée de taille et de forme très différente, le nitrile de citronellyl (NIT), mais qui possèdent toutes deux un mode de vibration commun vers 2200 cm⁻¹, l'un dû à la vibration C-D et l'autre à la vibration C≡N. Il a été ainsi possible de montrer que des mouches entraînées à fuir la molécule d₁₇-OCT fuyaient aussi spontanément le nitrile de citronellyl, alors que des mouches non conditionnées ne

présentaient aucune aversion particulière pour la molécule NIT. On remarquera, que la même sensibilité à la deutération peut être observée en milieu aquatique où l'on a pu montrer que les poissons étaient parfaitement capables grâce à leurs RO de faire la distinction entre la glycine hydrogénée et la glycine totalement deutérée (Hara 1977).

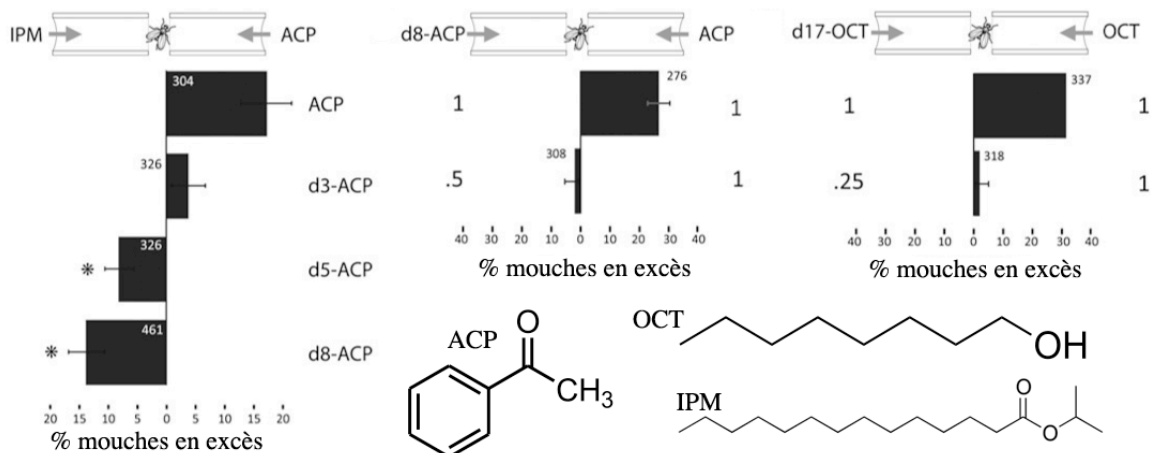


Figure 10: *Expériences menées avec des mouches ordinaires démontrant leur aversion sélective pour les molécules deutérées par rapport aux mêmes molécules hydrogénées. Si l'on refait ces expériences avec des mouches mutantes anosmiques, ces dernières se répartissent à égalité entre les deux conduits.*

Conclusion

Le fait que le sens olfactif traduise la capacité de l'être humain à réagir aux ondes infrarouge moyennes est aussi extrêmement logique au regard de la manière dont fonctionne les autres sens. En effet, en prenant conscience de cette nature quantique du sens de l'odorat, on ne peut que constater la nature profondément vibratoire de la vie car on vient remplir un trou dans le spectre des fréquences détectables par le corps humain (figure 11): œil (ondes visibles: $\lambda = 0,4-1 \mu\text{m}$), odorat (infrarouge moyen $\lambda = 1-3 \mu\text{m}$), peau (infrarouge lointain: $\lambda = 3-1000 \mu\text{m}$), eau (microondes et ondes radio: $\lambda = 1 \text{ mm}-100 \text{ km}$) et oreilles (ondes sonores: $\lambda = 10-10\,000 \text{ km}$). Le fait que ce soit une vibration correspondant aux infrarouges moyens qui déclenche la sensation olfactive additionnée au fait que l'eau via sa structuration en domaines de cohérence est sensible à ces mêmes ondes a des conséquences fort intéressantes. En effet, comme il semble possible que l'eau mémorise certaines fréquences électromagnétiques caractéristiques des solutés avec lesquels elle a été mise en contact, la présence physique de la molécule dans le RO pourrait ne pas être nécessaire. Il suffirait en effet de remplacer l'odotope chimique par un ensemble de molécules d'eau en cohérence de phase quantique mémorisant une fréquence caractéristique de l'odotope. Dans ces conditions, la simple émission d'une onde infrarouge pourrait affecter les RO et piloter le mécanisme biochimique impliquant les protéines G agissant en liaison avec ces récepteurs. On pourrait ainsi facilement comprendre comment une odeur puisse être perçue de manière quasi-instantanée à plusieurs kilomètres du lieu d'émission d'une quantité infinitésimale de matière odoriférante. Comme il suffit d'une seule molécule pour générer une onde qui se propage quasi-instantanément à l'échelle des distances terrestres, le problème de savoir comment la molécule diffuse vers le récepteur ne se pose plus.

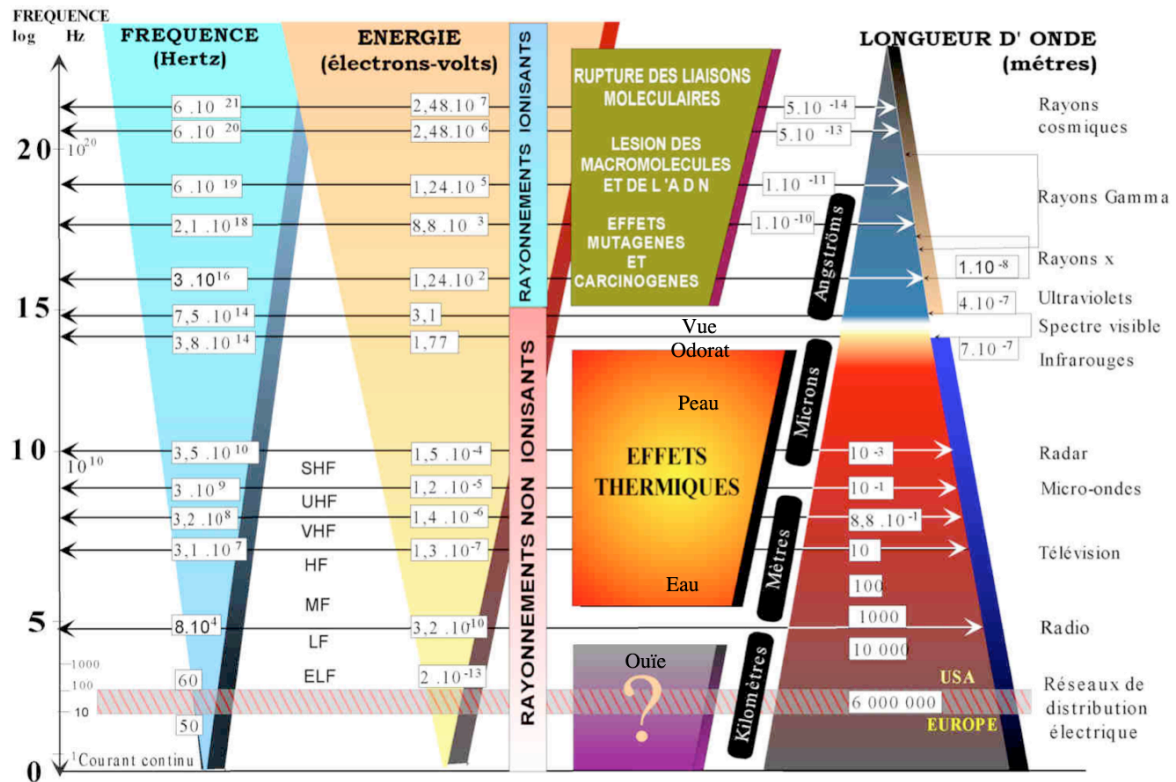


Figure 11: La nature quantique du sens de l'odorat permet de combler un trou dans l'ensemble du spectre de fréquences que propose la nature. En effet, si le sens de l'odorat était de nature purement chimique, les êtres vivants seraient totalement insensibles aux ondes infrarouges moyennes ($\lambda = 1-3 \mu\text{m}$), ce qui soulèverait la question de savoir la raison pour laquelle la nature ignorerait cette plage étroite de fréquence. Fort heureusement, le sens de l'odorat vient combler cette lacune, ce qui évite d'avoir à se poser une question aussi embarrassante.

Sur un plan thérapeutique, prendre conscience des aspects quantiques du sens de l'odorat en relation avec la structure quantique de l'eau permet de définir un socle scientifique commun à l'homéopathie et à l'aromathérapie. En effet, rappelons que la cellule vivante est un milieu confiné où les lois de la physique statistique ne s'appliquent pas en raison d'un nombre trop faible de particules. Considérons par exemple une bactérie comme *Escherichia Coli* qui a une forme cylindrique de longueur $1 \mu\text{m}$ pour un diamètre de $0,5 \mu\text{m}$ et une masse $7 \times 10^{-13} \text{ g}$. Sachant que cette bactérie environ contient 70 pds% d'eau, un calcul élémentaire montre que le nombre total de molécules d'eau dans cette bactérie est seulement de 19 milliards. Après l'eau les deux espèces intracellulaire les plus abondantes sont les protéines (75 millions) et les ions potassium (67 millions). Viennent ensuite les ions magnésium (6 millions), les ions sodium et chlorure (5 millions), les ions bicarbonate (4 millions) puis l'ATP avec environ un million de molécules. Enfin, il y entre 48 et 48 000 ions calcium et seulement une cinquantaine de protons... Si l'on fait le rapport entre le nombre de molécules d'eau et le nombre total de molécules et d'ions, on trouve que $\% \text{H}_2\text{O}(\text{nombre}) = 1900000/19163 = 99\%$. Sur un plan topologique, et donc non métrique, un être vivant est donc fait à 99% d'eau qui existe sous un état, appelé «eau interfaciale», ayant ses caractéristiques thermodynamique propres. Or dans toute forme d'eau vapeur, liquide, interfaciale ou solide il existe des espaces vides qui entourent en permanence les molécules

d'eau reliées par des ponts hydrogène. Ce vide physique aqueux (VPA) est exploité en physique quantique des champs pour mémoriser une information de nature électromagnétique via un domaine de cohérence, où les phases quantiques sont toutes en phase. Au sein de ces domaines de cohérence les molécules d'eau oscillent en bloc de manière collective à la fréquence de l'onde électromagnétique piégée dans le VPA. C'est cette onde de cohérence faite d'eau, de vide et de photons qui persiste dans l'eau, même après de multiples dilutions des molécules ayant été utilisées pour «mémoriser» l'une des fréquences appartenant au spectre du soluté. L'homéopathie exploite cette propriété du vide quantique pour transmettre une information de nature chimique sans la présence physique de la substance chimique correspondant à cette information. On voit ici très clairement comment l'aromathérapie pourrait exploiter elle aussi cette propriété du vide quantique via la libération de quantités infinitésimales de molécules odoriférantes qui exciteraient les RO de manière purement ondulatoire via un mécanisme de transduction exploitant l'eau composant majoritaire de toute cellule vivante. On redonne ainsi des lettres de noblesse à l'aromathérapie qui traîne encore trop souvent derrière elle, comme l'homéopathie, une réputation sulfureuse dans le cadre de la médecine allopathique

En dernier lieu, le fait qu'une huile essentielle soit plus que la somme des ses molécules constituantes et que la plante entière se retrouve dans cette dernière peut aisément s'expliquer que dans ce cadre topologique et quantique. En effet, comme on l'explique en annexe, la dualité onde/corpuscule a pour conséquence que chaque molécule est a priori en contact instantané avec l'univers tout entier via des corrélations entre phases quantiques. L'huile essentielle doit donc être perçue comme une unité indissociable qu'il est parfaitement ridicule d'analyser en termes de molécules chimiques constituantes. Cette démarche matérialiste et réductionniste serait parfaitement raisonnable si le monde fonctionnait à l'image de la physique classique. Dans un monde quantique, il est possible de coder le contenu informationnel de tout un individu animal ou végétal dans un volume aqueux de $0,1 \text{ mm}^3$! L'enchevêtrement des fonctions d'onde quantiques est tout à fait possible à une échelle aussi petite et l'arbre entier ou le corps humain devient une antenne sensibles aux signaux mécaniques, électromagnétiques ou quantiques de toutes sortes et non un simple agrégat de molécules soumises aux lois de la chimie. Il ne faut donc pas être surpris du fait qu'une simple odeur puisse être capable d'évoquer la plante ou l'animal dans ses moindres détails, voire de soigner de manière holistique et globale un dysfonctionnement organique ou cellulaire.

Références

- Brookes J.C., Hartoutsiou F., Horsfield A.P. & Stoneham A.M. (2007), «Could humans recognize odor by phonon assisted tunnelling», *Phys. Rev. Lett.*, **98**, 038101.
- Buck L. & Axel R. (1991), «A novel multigene family may encode odorant receptors. A molecular basis for odor recognition», *Cell*, **65**, 175-187.
- Fischer E. (1894), «Einsfluss des configurations auf die wirkung der enzyme», *Ber. Deutsche Chem. Ges.*, **27**, 2985-2983.
- Franco M.I., Turin L., Mershin A. & Skoulakis E.M.C. (2011), «Molecular vibration sensing component in Drosophila Melanogaster olfaction», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **108**, 3797-3802.
- Hara J. (1977), «Olfactory discrimination between glycine and deuterated glycine by fish», *Cellular Molec. Life Sci.*, **33**, 618-619.
- Keller A. & Vosshall L.B. (2004), «A psychological test of the theory of olfaction», *Nature Neurosci.*, **7**, 337-338.
- Takane S.Y. & Mitchell J.B.O. (2004), «A structure odor relationship study using EVA descriptors and hierarchical clustering», *Org. Biomol. Chem.*, **2**, 3250-3255.
- Turin L. (1996), «A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception», *Chem. Senses*, **21**, 773-791.

Annexe technique

L'avènement de la physique quantique au début du vingtième siècle, suite à l'incapacité de la physique classique de rendre compte de la stabilité de l'atome a fait voler en éclat les notions de déterminisme via l'introduction de la dualité onde-corpuscule qui associe à toute énergie E , une fréquence ν selon la relation $E = h \cdot \nu$ (relation de Planck-Einstein) et à toute quantité de mouvement $p = m \cdot v$, une longueur d'onde $\lambda = h/p$ (relation de De Broglie-Schrödinger). La constante de Planck h qui confère des propriétés ondulatoires (fréquence ν) à la matière et des propriétés matérielles (quantité de mouvement p) à la lumière est extraordinairement petite valant $6,6261 \times 10^{-34}$ J·s. La première conséquence de cette dualité onde-corpuscule est que s'il est possible d'associer à toute particule matérielle de masse m et de vitesse v une longueur d'onde $\lambda = h/(m \cdot v)$, alors la taille de cette particule doit nécessairement être égale à la taille de l'univers tout entier, puisqu'une onde parfaitement périodique n'a ni début, ni fin (figure A1).

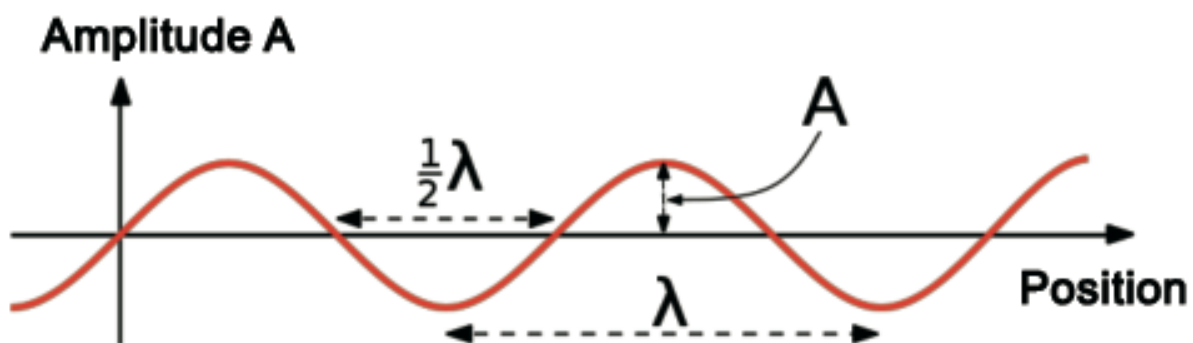


Figure A1: Une onde parfaitement monochromatique n'a ni début, ni fin, se répétant dans l'espace identique à elle-même avec une amplitude oscillant avec une période λ (longueur d'onde) entre deux valeurs finies $-A$ et $+A$ quelle que soit la position.

Ceci fait que parler de la position ou de la taille d'un objet n'a strictement aucun sens en physique quantique. La seule chose raisonnable qu'il est possible de faire dans ces conditions est de parler de la probabilité de présence de l'objet en un lieu et un moment donné. Comme la position devient un concept inutile, la vitesse qui est le taux de variation de la position dans le temps devient aussi un concept inutile. Ainsi, en physique quantique, chaque objet peut non seulement se trouver à un moment donné n'importe où dans l'univers, mais il peut aussi avoir n'importe quelle vitesse, y compris celle de la lumière c . Cette absence de position et de vitesse bien définies fait que parler de la forme d'un objet quantique est tout aussi inutile que parler de sa taille. Dans un cadre quantique, le fait que les objets matériels semblent avoir des tailles, des formes et des vitesses bien définies découle de relations d'incertitudes liant position spatiale r et quantité de mouvement p , orientation spatiale θ et moment cinétique L , ainsi que position temporelle t et énergie E (figure A2). Par exemple le fait qu'un atome ait une taille relativement bien définie de l'ordre de $\Delta r = 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$, découle du fait que l'incertitude sur la quantité de mouvement de ses électrons (masse $m_e = 10^{-30} \text{ kg}$) est relativement grande $\Delta p = m_e \cdot \Delta v = h/\Delta r \Rightarrow \Delta v = 6,6261 \times 10^{-34} / (10^{-10} \times 10^{-30}) \approx 7 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit une incertitude de l'ordre de 2% de la vitesse de la lumière ($c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Avec une telle incertitude sur la vitesse des électrons, l'énergie cinétique des électrons $K = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot (\Delta v)^2 \approx \frac{1}{2} \times 10^{-30} \times 5 \times 10^{13} = 3 \times 10^{-17} \text{ J} \approx 160 \text{ eV}$ est du même ordre de grandeur que l'énergie potentielle d'attraction électron-noyau $V(\text{eV}) = -14,4 \times Z / \Delta r(\text{\AA})$, où Z est le numéro atomique compris typiquement entre 1 et 100.

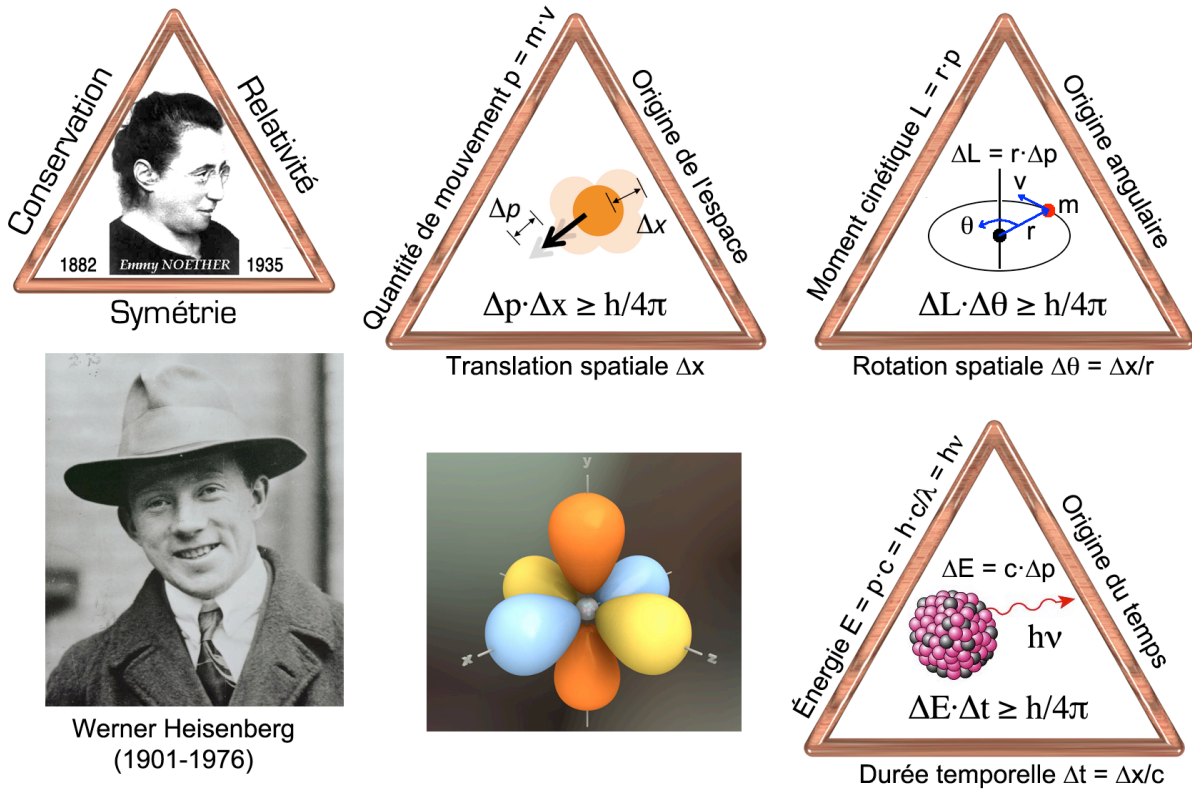


Figure A2: La physique quantique fait appel aux principes d'incertitudes d'Heisenberg position/quantité de mouvement, angle/moment cinétique et temps/énergie qui trouvent leur origine dans le théorème de Noether imposant pour toute opération de symétrie continue (translation ou rotation) l'existence d'un principe de relativité pour le choix de l'origine du repère physique et une conservation du moment conjugué associé à la coordonnée spatiale ou temporelle. Le principe d'incertitude liant position et quantité de mouvement implique que le mouvement des électrons autour des noyaux doit être décrit au moyen d'un nuage de probabilité et non via une trajectoire déterministe comme en mécanique classique. Il permet également de rendre compte de la taille des atomes et de l'existence d'un vide énorme au sein des atomes. Celui liant moment cinétique et angle gouverne la forme qu'adoptent les nuages électroniques, tandis que celui liant temps et énergie gouverne la stabilité des atomes dans le temps en rapport avec l'émission de lumière.

Une autre conséquence de la dualité onde-corpuscule est que l'énergie ne varie plus de manière continue comme en physique classique. Cela peut être facilement compris en considérant une particule de masse m emprisonnée dans un boîte de taille finie a de laquelle il lui est impossible de s'échapper (figure A3). La vision corpusculaire classique d'une telle situation consiste à dire que la particule est animée d'une certaine vitesse v qui change de direction lorsque la particule rebondit sur l'une des deux parois. En physique classique, cette vitesse v peut être quelconque impliquant que l'énergie cinétique $K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ peut prendre n'importe quelle valeur et varie donc de manière parfaitement continue entre zéro et l'infini. En théorie quantique, on associe à cette même vitesse v , une quantité de mouvement $p = m \cdot v$ fixant la longueur d'onde $\lambda = h/p$ associée à la particule. Comme le puits de potentiel est infini, la probabilité de présence de la particule en dehors de la zone $-a/2 \leq x \leq +a/2$ décrite par l'onde $\psi(x)$ doit être nulle impliquant que $\psi(\pm a/2) = 0$.

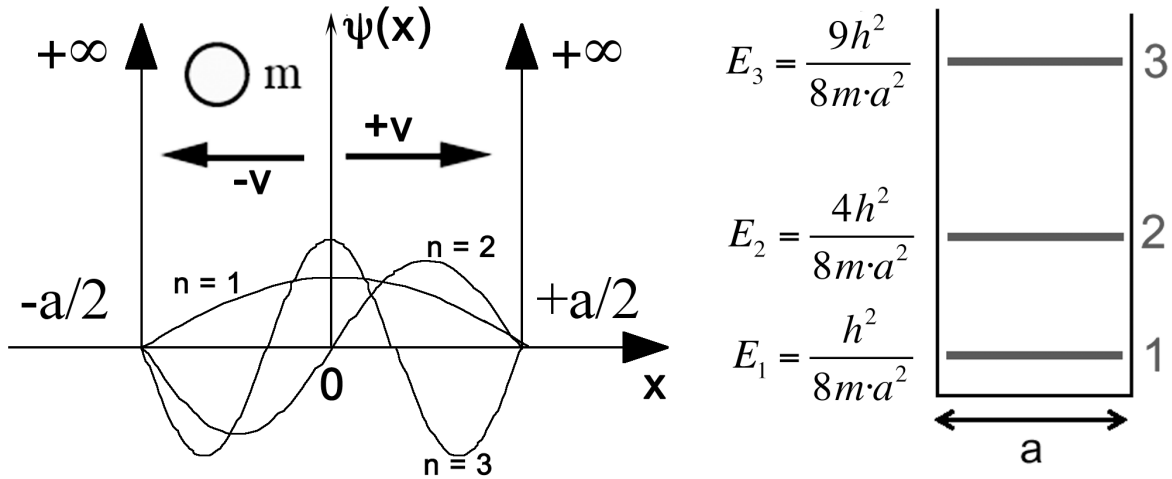


Figure A3: Quantification de l'énergie dans un puits de potentiel infini obligeant la matière à rester confinée dans une zone d'étendue spatiale a .

Si l'onde associée est de type $\psi(x) = \sin(2\pi \cdot x/\lambda)$, la condition aux limites $\psi(\pm a/2) = \sin(\pm\pi \cdot a/\lambda) = 0$ signifie que la longueur d'onde λ ne peut pas prendre n'importe quelle valeur réelle mais se trouve contrainte par un entier n tel que $2\pi \cdot a/\lambda = n \cdot \pi$, soit $\lambda = 2a/n$ avec $n = 1, 2, 3, \dots, +\infty$. Comme en théorie quantique $p = h/\lambda$, il vient que:

$$K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m \cdot \lambda^2} = \frac{h^2}{8m \cdot a^2} n^2$$

L'énergie ne varie donc plus de manière continue, mais croît comme le carré d'un nombre entier n , donnant naissance à une échelle d'énergie où les seules valeurs permises correspondent aux valeurs qui peuvent être indexées au moyen du nombre quantique n . La situation est en fait tout-à-fait générale et ne dépend pas de la forme du puits de potentiel. Comme le montre la figure A4, tout puits de potentiel infini emprisonnant une particule matérielle qu'il soit carré (boîte quantique), parabolique (oscillateur harmonique) ou bien encore hyperbolique (atome) donne naissance à une quantification de l'énergie via un nombre entier n . La forme exacte du potentiel détermine la loi de variation de l'énergie en fonction du nombre quantique n , tandis que le fait que l'énergie soit quantifiée ne dépend pas de la forme du potentiel de confinement mais uniquement de l'existence de conditions aux limites imposant l'annulation de la fonction d'onde $\psi(x)$ à certaines bornes du domaine de confinement.

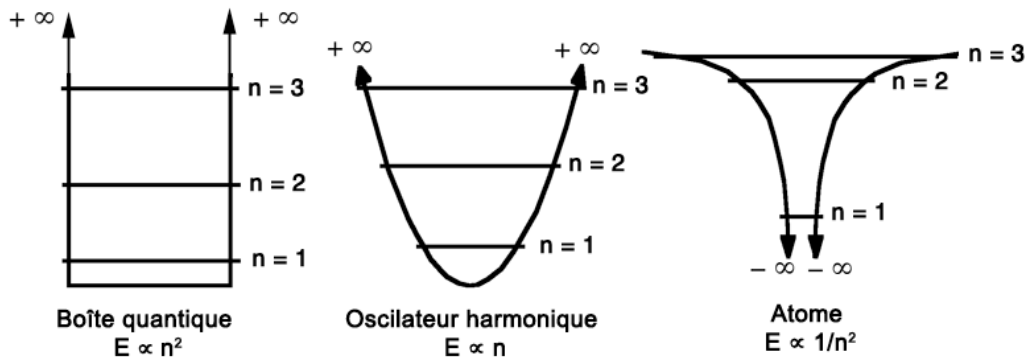


Figure A4: Lois de quantification de l'énergie E en fonction d'un nombre quantique $n = 1, 2, 3, \dots, +\infty$ pour différentes formes du potentiel de confinement d'une particule matérielle présentant un caractère ondulatoire et non un caractère classique où toutes les valeurs de l'énergie seraient autorisées.

On notera ici l'importance d'avoir un puits de potentiel infini pour s'assurer que la particule ne s'échappe pas de la boîte quantique par effet tunnel. En effet, comme le montre la figure A5, il est toujours possible en physique classique d'empêcher une particule se déplaçant avec une certaine vitesse v d'accéder à une certaine région de l'univers en plaçant sur son chemin une barrière de potentiel V supérieure à son énergie cinétique K . En physique quantique l'omniprésence spatiale de la fonction d'onde fait qu'il y a toujours une probabilité non nulle de passer sous la barrière (effet tunnel).

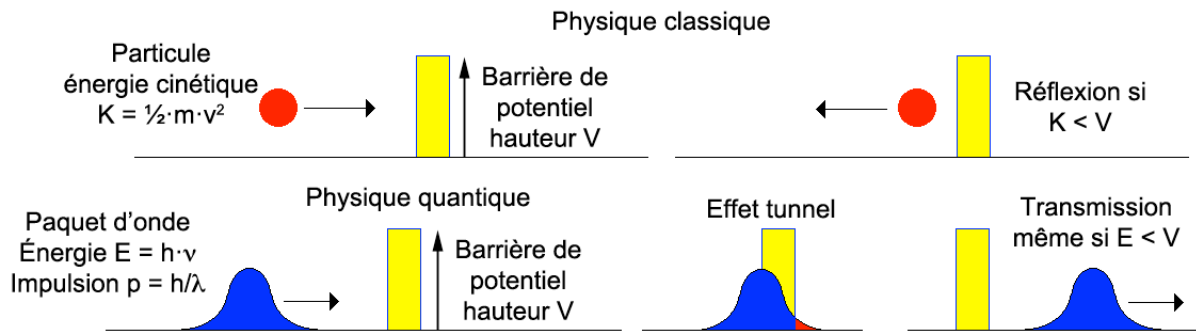


Figure A5: En physique classique (haut), il est toujours possible d'empêcher une particule possédant une certaine énergie cinétique K d'accéder à une région de l'espace-temps en protégeant cette dernière par une barrière de potentiel étroite de hauteur $V > K$. La particule arrivant sur une telle barrière sera obligée de rebrousser chemin car son énergie cinétique n'est pas suffisante pour passer par dessus cette barrière. La situation est très différente en physique quantique (bas) à cause de la dualité onde-corpuscule. Comme l'onde associée à la particule n'a pas de limite, cette dernière débordera toujours un petit peu de l'autre côté de la barrière, et ce quel que soit sa largeur. D'autre part, comme l'objet quantique se comporte également comme un tout insécable sans forme précise, il peut très bien s'aplatir comme un crêpe pour franchir la barrière et reprendre son aspect de particule une fois passé de l'autre côté. Ce phénomène appelé «effet tunnel» fait qu'il est absolument impossible d'emprisonner la matière quantique. Tout ce que l'on peut espérer faire c'est rendre la probabilité de transmission extrêmement faible, mais en aucun cas il n'est possible de l'annuler complètement, car il faudrait pour cela une barrière de hauteur infinie.

Une dernière conséquence importante de la dualité onde-corpuscule est que la notion de vide ne signifie plus nécessairement qu'il y a absence de matière ou de rayonnement, mais peut correspondre à une situation où deux phénomènes bien réels de même intensité agissent de manière opposée. Cette conception nouvelle du vide est étroitement liée à la notion de phase quantique qui gouverne ce qui pourra être observé lorsqu'un événement donné est susceptible de se produire selon deux modalités discernables quant aux chemins suivis mais indiscernables quant au résultat final. La figure A6 illustre cette loi quantique de superposition des états dans le cas où deux états quantiques d'amplitude respective a et b donnent naissance par superposition à un nouvel état quantique d'amplitude c . Ainsi, si les deux états ont un angle relatif de phase γ nul, la loi stipule que $c^2 = a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2$, puisque dans ce cas $\cos \gamma = 1$. Si $a = b$, l'intensité observée $c^2 = 4a^2$ sera donc deux fois supérieure à la somme des deux intensités individuelles $a^2 + b^2 = 2a^2$. Cette loi de synergie est à l'origine de l'effet laser, qui permet de créer des sources de lumière parfaitement cohérente. Lorsque les deux états ont un angle relatif de phase γ égal à π , la loi stipule que $c^2 = a^2 - 2ab + b^2 = (a - b)^2$, puisque dans ce cas $\cos \gamma = -1$. Si $a = b$, l'intensité observée $c^2 = 0$ sera donc nulle bien que la somme des deux intensités individuelles soit non nulle: $a^2 + b^2 = 2a^2$. Cette loi d'opposition est à l'origine du principe d'exclusion de Pauli, selon lequel il est impossible

d'observer deux particules parfaitement identiques dans le même état quantique. C'est la raison essentielle pour laquelle les atomes existent et ne s'effondrent pas sur eux-mêmes étant constitués de vide à 99,999999999999%. Enfin le cas où γ est égal à $\pi/2$ couvre les situations où le système quantique se comporte de manière purement classique, et où il n'est pas nécessaire de faire appel à la dualité onde-corpuscule pour expliquer le résultat observé. Ceci montre bien que la physique classique ne doit être utilisée que dans des cas extrêmement particuliers et que l'approche quantique est beaucoup plus générale que l'approche classique.

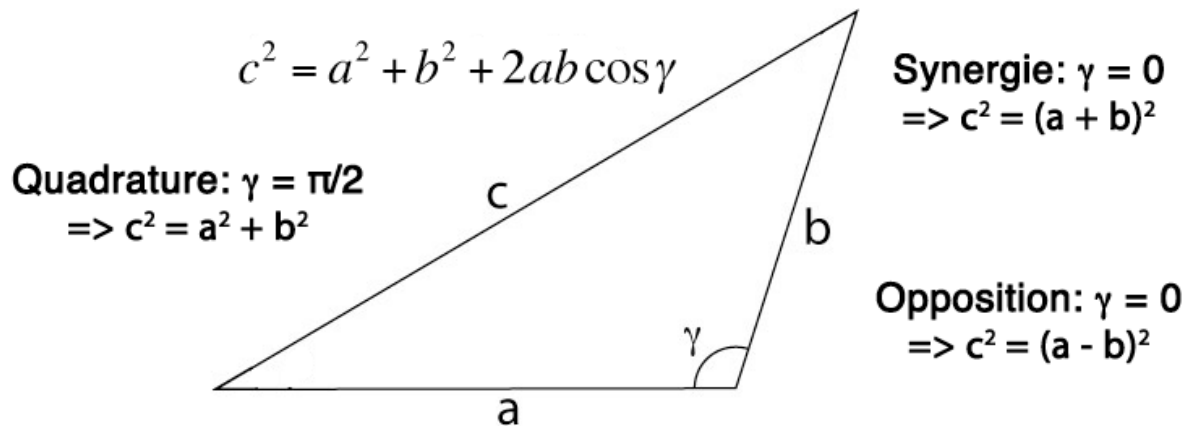


Figure A6: Lois de superposition des états quantiques pour un événement pouvant se produire selon deux modalités d'amplitudes respectives a et b indiscernables quant au résultat final d'amplitude c . La physique classique correspond au cas particulier où l'angle de phase γ est toujours égal à $\pi/2$ (théorème de Pythagore). En physique quantique, cet angle de phase γ est autorisé à prendre n'importe quelle valeur signifiant qu'il est possible d'exalter ($\gamma = 0$) ou au contraire d'annihiler complètement ($\gamma = \pi$) tout phénomène physique de nature matérielle ou ondulatoire.

Il est extrêmement satisfaisant que la loi de conservation de la charge électrique puisse être associée en physique quantique à la relativité de l'origine pour mesurer la phase quantique et à l'opération de symétrie consistant à changer l'angle de phase d'une quantité infinitésimale $d\gamma$ (figure A7).

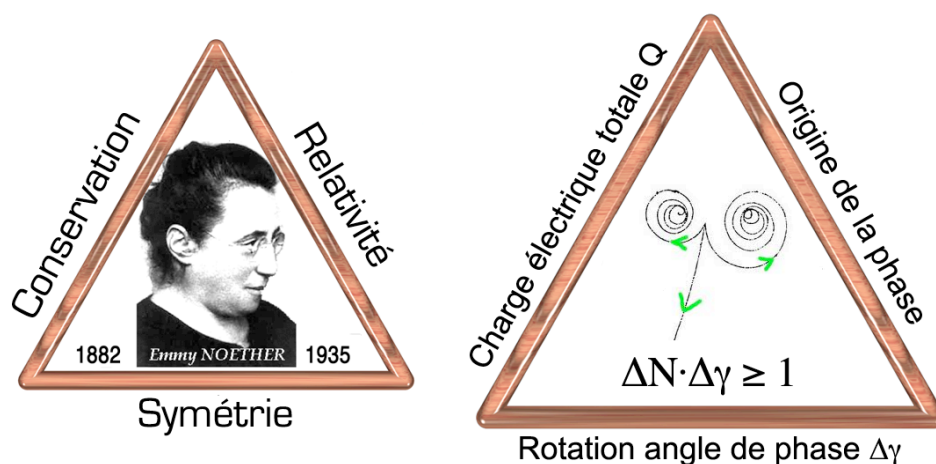


Figure A7: En accord avec le théorème de Noether, l'existence d'une phase quantique γ permet d'expliquer la conservation de la charge électrique totale de tout système physique et introduit une nouvelle relation d'incertitude liant le nombre de charges N et l'angle de phase γ .

Ceci a pour conséquence que toute information codée au niveau d'une phase quantique ne sera pas mesurable physiquement, car seuls les effets liés aux différences de phase peuvent être observés (figure A6). Le fait que les informations associées aux valeurs absolues de ces phases quantiques ne peuvent pas être mesurées associées au fait qu'un objet quantique possède la taille de l'univers tout entier explique le phénomène d'enchevêtrement responsable du caractère holistique et non-local de la physique quantique. Cette non-localité se traduit par le fait que deux objets quantiques établissant une corrélation de phase à un lieu et un moment donné, conserveront de manière instantanée cette corrélation quelque soit leur éloignement spatial relatif. On notera à ce propos que le principe de relativité d'Einstein selon lequel il est impossible de se déplacer avec une vitesse supérieure à celle de la lumière n'est en aucun cas violé ici, car les phases quantiques étant inobservables par principe, il n'est pas nécessaire d'échanger un quelconque signal physique entre les deux objets quantiques. Le simple fait que les objets quantiques ont une taille infinie implique *ipso facto* que l'information de phase est toujours instantanément disponible en n'importe quel point de l'univers.

Je terminerai ce rapide tour d'horizon des propriétés de la matière quantique par les propriétés étonnantes du vide. En effet, selon la théorie quantique des champs, cet espace exempt de matière est capable de capturer des photons générés par les fluctuations du vide quantique pour donner naissance à des domaines de cohérence au niveau des phases quantiques (figure A8).

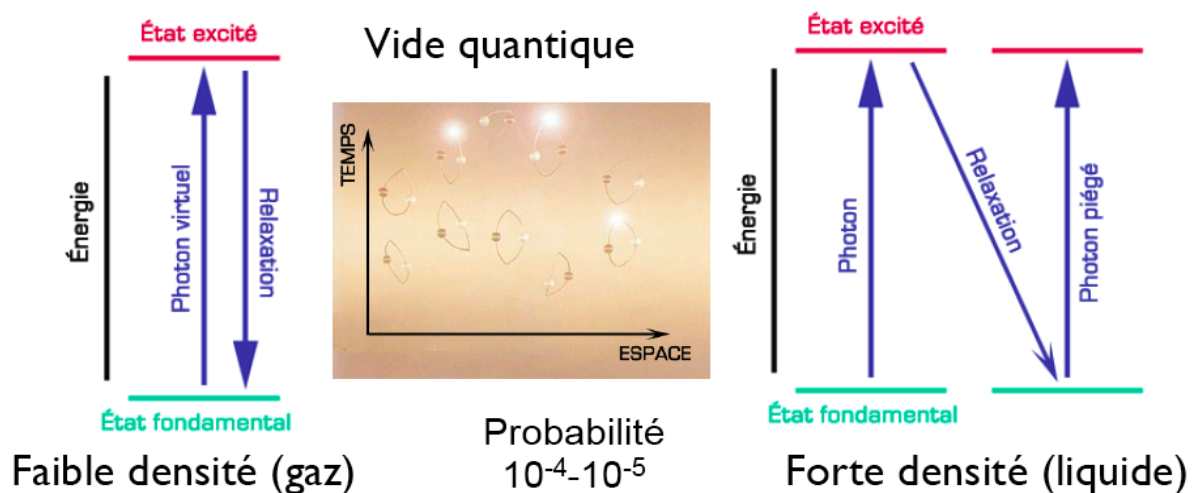


Figure A8: Selon la théorie quantique des champs le vide est un milieu fluctuant où apparaissent et disparaissent sans cesse des photons (milieu). Dans l'eau vapeur (gauche), l'absorption d'un photon virtuel en provenance du vide fait passer la molécule dans un état excité qui relaxe rapidement vers l'état fondamental. Dans l'eau liquide ou la glace les molécules d'eau sont suffisamment proches grâce aux liaisons hydrogène pour piéger les photons du vide en les faisant circuler rapidement sur un «domaine de cohérence» regroupant environ 5,5 millions de molécules d'eau.

Ce phénomène est lié à la relation d'incertitude liant la fluctuation sur le nombre de quanta disponibles ΔN à l'incertitude $\Delta\phi$ de la phase du champ quantique décrivant le milieu, qui s'exprime sous la forme: $\Delta N \cdot \Delta\phi \geq 1$ (figure A9). Dans ces conditions, si le nombre de quanta ne fluctue pas ($\Delta N \rightarrow 0$), cela signifie qu'il est impossible de fixer la phase ϕ du champ quantique ($\Delta\phi \rightarrow \infty$). Ce cas de figure que l'on qualifie d'incohérent signifie que les quanta du champ ont un comportement individuel, chaque objet existant de manière indépendante des autres. L'information que l'on peut écrire sur ce système à nombre de quanta fixe peut être quantifiée au moyen de la théorie de C.E. Shannon, mais ne permet de transmettre du sens.

On parle alors d'information «morte». À l'inverse si le nombre de quanta se met à fluctuer fortement ($\Delta N \rightarrow \infty$), cela signifie qu'il devient possible de fixer la phase ϕ du champ quantique ($\Delta\phi \rightarrow 0$). Le prix à payer pour acquérir cette cohérence quantique est que les quanta se comportent de manière collective, avec une indiscernabilité totale des objets participant au champ de cohérence. Ce bloc de quanta ayant une phase quantique fixée et non fluctuante permet d'écrire et de transmettre une information «vivante» car d'essence purement quantique et non classique. Contrôler la phase signifie en effet pouvoir créer des interférences constructives ou destructives au niveau des fonctions d'onde décrivant le système et donc de donner du sens à une information «morte» stockée sur un support incohérent. On aura compris que dans une cellule, les molécules comme l'ADN ou l'ARN jouent le rôle de support incohérent à l'information nécessaire pour que la vie s'exprime, tandis que l'eau avec son réseau de liaisons hydrogène fluctuant sur une échelle de temps de l'ordre de la picoseconde permet de donner de la cohérence et donc de «lire» et «comprendre» ce qui est écrit sur le support incohérent. La stabilisation de la phase quantique n'étant assurée que via une interaction à trois partenaires: vide, molécules d'eau et lumière, impliquant un réseau fluctuant de liaisons hydrogène, un moyen évident d'action sur ces domaines de cohérence est d'utiliser des ondes de nature électromagnétique comme la lumière. Compte tenu de la durée de vie d'une liaison hydrogène $\Delta t(\text{LH}) \approx 10^{-12}$ sec, une fréquence basse $\Delta\nu = 1/\Delta t(\text{LH}) \approx 10^{12}$ Hz, soit une longueur d'onde de $300 \mu\text{m}$ peut être avancée. De même, comme l'énergie d'une liaison hydrogène est de l'ordre de 200 meV, on a compte tenu de la relation d'Heisenberg liant temps et énergie, $\Delta E \cdot \Delta t \approx h/2\pi = 0,659$ meV·ps, $\Delta t \approx 0,659 \times 10^{-12}/200 \approx 3,3 \times 10^{-15}$ sec, une fréquence haute de $\nu = 1/\Delta t \approx 3 \times 10^{14}$ Hz correspondant à une longueur d'onde de $1 \mu\text{m}$, taille moyenne d'une cellule vivante. Les ondes électromagnétiques susceptibles d'influencer les domaines de cohérence couvrent donc tout le spectre infrarouge depuis le proche infrarouge ($0,7\text{-}3 \mu\text{m}$) jusqu'à l'infrarouge lointain ($30\text{-}1000 \mu\text{m}$) en passant par l'infrarouge moyen ($3\text{-}30 \mu\text{m}$). Incidemment, le rayonnement infrarouge terrestre dans lequel baigne tous les êtres vivants présente un maximum dans la gamme $9\text{-}11 \mu\text{m}$. De plus, sachant que les ondes de cohérence se propagent sous forme de solitons à une vitesse de l'ordre de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, un autre gamme d'action au niveau de la cohérence entre les domaines et non plus à l'intérieur d'un domaine est envisageable en utilisant des ondes de fréquence $\nu_{\text{soliton}} = c/v_{\text{cohérent}}$ dans la gamme 3 kHz à 1 MHz, domaine des ondes radio de type VLF, LF et MF. Les photons étant les vecteurs de l'interaction électromagnétique, ces domaines de cohérence expliqueraient la sensibilité de l'eau aux ondes infrarouge et aux champs électromagnétiques radiofréquence ainsi que le stockage de certaines fréquences moléculaires caractéristique de toute molécule ayant été mise en contact avec de l'eau liquide.

Pour rendre les choses plus claires, considérons un goutte d'eau de $1 \text{ cm}^3 = 10^{24} \text{ \AA}^3$ de volume. Une molécule d'eau ayant un volume de 20 \AA^3 et un domaine de cohérence contenant 5,5 millions de molécules d'eau, le volume d'un domaine de cohérence est $5,5 \times 10^6 \times 20 = 108 \text{ \AA}^3$, soit 10^{16} domaines de cohérence dans une goutte d'eau. Chaque domaine de cohérence correspondant à une phase quantique bien définie, il est possible de coder sur un tel domaine une information de 1 bit selon que la phase est alignée avec une direction de référence ou opposée. On dispose donc de 10^{16} bits d'information, soit à peu près un million de gigaoctets! Le contenu informationnel d'une molécule d'ADN codant un être humain complet étant de 725 Mo on peut dans un goutte d'eau de 1 cm^3 coder pas moins de un million d'être humains... L'humanité entière correspondant à six milliards d'individus pourra être codée dans 6000 cm^3 , soit seulement 6L d'eau... Enfin le contenu informationnel de tous les livres du monde entier a été estimé à 200 pétaoctets, soit 200 milliards de Go, ce qui nécessiterait un volume de $200\,000 \text{ cm}^3$, soit 200 litres d'eau, volume que consomme un français moyen pour vivre chaque jour. L'information stockée sur des domaines de cohérence

de l'eau liquide étant de type essentiellement qualitative, par opposition à l'information stockée sur des domaines incohérents solides qui est plutôt de nature quantitative, cette notion de cohérence doit impérativement être prise en compte par toute approche globale d'évaluation de la qualité de la matière vivante. En particulier, le fait que ce soient les phases quantiques qui supportent l'information «vivante» fait que seul un être vivant sera sensible à ce type d'information, car c'est une propriété bien connue de la phase quantique qu'elle disparaît lors de toute mesure physique. En effet, un système vivant ne réagit pas à la phase quantique elle-même mais plutôt à des différences de phase qui elles ont des effets tangibles. Il convient donc d'être très prudent dans l'utilisation d'appareils de mesures physiques pour évaluer la qualité de la matière vivante, car seule la vie peut vraiment évaluer la vie...