

# L'eau en cohérence quantique et la vie

## Quantum Coherent Water and Life

*L'eau est en cohérence quantique dans les conditions normales, conformément à la théorie des champs de l'électrodynamique quantique, qui peut expliquer beaucoup de ses propriétés les plus paradoxales, y compris la vie elle-même. [Dr. Mae-Wan Ho](#)*

**Rapport de l'ISIS en date du 25/07/2011**

La version originale en anglais avec toutes les références intitulée [Quantum Coherent Water and Life](#) ; elle est accessible aux membres de l'ISIS sur le site [www.isis.org.uk/Quantum\\_Coherent\\_Water\\_Life.php](http://www.isis.org.uk/Quantum_Coherent_Water_Life.php)

S'il vous plaît diffusez largement et rediffusez, mais veuillez donner l'URL de l'original et conserver tous les liens vers des articles sur notre site ISIS. Si vous trouvez ce rapport utile, s'il vous plaît, soutenez ISIS en vous abonnant à notre magazine [Science in Society](#), et encouragez vos amis à le faire. Ou jetez un oeil à notre librairie [ISIS bookstore](#) pour d'autres publications

[[Note du traducteur](#) : les mots et expressions en gras dans le texte renvoient à des 'Définitions et compléments' qui figurent par ordre alphabétique à la suite de l'article original de l'ISIS].



L'eau, le composé le plus fréquent et le plus simple sur la planète terre, a également des propriétés les plus complexes et de déroutantes «anomalies» qui font qu'elle est essentielle pour la vie et le vivant. Des générations de brillants scientifiques ont orienté leur esprit et leurs instrumentations sophistiquées dans l'espoir de démêler, mais en vain, les secrets de l'eau.

Peut-être la découverte la plus significative au cours des trente dernières années est que l'eau a des propriétés quantiques dans les conditions ambiantes, et qu'elle peut même être en **cohérence quantique**, comme cela a été révélé par des mesures de **résonance**

**magnétique nucléaire** (voir [1] [Cooperative and Coherent Water](#) et d'autres articles de la série, SiS 48) \*.

\* Version en français : « L'eau est coopérante et cohérente » par le Dr. Mae-Wan Ho. Traduction et compléments de Jacques Hallard, lundi 27 septembre 2010 - ISIS Biologie Eau - Série Jazz Quantique de l'eau. « Les liaisons hydrogène qui coopèrent entre les molécules, donnent lieu à des réseaux en trois dimensions - favorables sur le plan énergétique - , des clusters ou agrégats supramoléculaires d'eau liquide dans les conditions ambiantes : cela entraîne des corrélations bipolaires à long terme et la cohérence quantique ». Article complet sur le site : <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article39>

« Les déplacements des ions qui dansent » par le Dr. Mae-Wan Ho. Traduction et compléments de Jacques Hallard, mardi 28 septembre 2010 - ISIS Biologie Eau

« L'eau a une relation dynamique privilégiée avec les ions qui y sont dissous et cela va déterminer le comportement chimique de ces derniers dans les cellules des êtres vivants. Tisser ou non des liens avec des ions. L'interaction de l'eau avec des ions a été étudiée pendant plus d'un siècle, mais beaucoup reste encore à comprendre. En général, les ions sont classés en deux groupes - « kosmotropes » et « chaotropes » - selon qu'ils induisent l'ordre ou le désordre dans l'eau... Article complet sur : <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article37>

« Les mouvements des macromolécules qui 'dansent' » par le Dr. Mae-Wan Ho. Traduction et compléments de Jacques Hallard, mercredi 9 novembre 2011 - ISIS Biologie Eau. Série Jazz Quantique de l'eau. « Les macromolécules ont besoin de beaucoup d'eau pour fonctionner sans effort et pour acquérir des propriétés complètement nouvelles lorsqu'elles sont convenablement hydratées... » Article complet sur : <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article190>

« La présence d'eau cohérente quantique et supraconductrice est confirmée dans des nanostructures » par le Dr Mae-Wan Ho. Traduction et compléments de Jacques Hallard ; dimanche 6 janvier 2013 - ISIS Physique Biologie. Série : Physique des organismes. « Des protons délocalisés et en cohérence quantique sont confirmés dans des nanotubes d'eau supraconductrice : ces propriétés physiques ont des implications importantes pour la biologie cellulaire... » Article complet sur le site : <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article274>

« L'Ensemble Arc-en-Ciel L'eau et les sels minéraux dans les cellules des organismes vivants » par le Dr. Mae-Wan Ho. Traduction et complément de Jacques Hallard ; vendredi 31 octobre 2014 - « Comment l'eau maintient la plupart du temps la quasi-totalité des systèmes biologiques dans une sorte de 'danse dans la cellule', et une interprétation de ce qu'est réellement une cellule dans un organisme vivant....

Précipitation, cristallisation ou dissolution ... les ions et les molécules en action - [Sous-titre de chapitre par le traducteur]. « Nous sommes maintenant prêts à nous aventurer à l'intérieur de la cellule vivante et à voir comment tout cet ensemble, que nous dénommons "l'ensemble arc-en-ciel", peut faire du 'jazz quantique' avec l'eau. Nous commençons par étudier l'interaction de l'eau avec les ions et les protéines... ».

L'article original en anglais, avec toutes les références et les illustrations, est intitulé The Rainbow Ensemble ; il est accessible par les membres de l'ISIS sur le site [www.i-sis.org.uk/theRainbowEnsemble.php](http://www.i-sis.org.uk/theRainbowEnsemble.php) - Voir le [Texte complet avec tous les liens et compléments du traducteur](#) - Voir aussi l'ouvrage « The Rainbow And The Worm - The Physics of Organisms » , by Mae-Wan Ho Director, ISIS. <http://www.i-sis.org.uk/rnbwwrm.php>

Cependant, ni la théorie classique, ni la théorie quantique standard n'ont prédit la cohérence quantique pour l'eau, en grande partie parce que les spécialistes ignorent les fluctuations quantiques et l'interaction entre la matière et les champs électromagnétiques, événements qui sont pris en compte dans la théorie des champs de l'**électrodynamique quantique**.

Les fluctuations quantiques et le couplage entre la matière et le champ électromagnétique dans l'électrodynamique quantique, prédit en effet une cohérence quantique pour l'eau liquide, même à des températures et des pressions ordinaires, selon Emilio Del Giudice et ses collègues de l'Université de Milan, qui ont fait des recherches sur ce problème depuis les années 1990.

Leur théorie suggère que l'interaction entre le champ électromagnétique sous vide, d'une part, et l'eau liquide, d'autre part, induit la formation de grands domaines cohérents stables (CD) d'environ 100 nm de diamètre dans des conditions ambiantes, et ces domaines cohérents stables CD peuvent être responsables de toutes les propriétés de l'eau, y compris de la vie elle-même [2-5].

## L'électrodynamique quantique de la matière condensée et l'eau

La théorie quantique des champs reconnaît explicitement un champ vide prolongé - «champ point zéro» - interagissant avec la matière, ainsi que des fluctuations quantiques par lesquelles l'énergie, dans le domaine du vide et sous la forme de **photons**, qui pourraient être capturés par la matière. Le théorie quantique des champs combine le **principe d'incertitude de Heisenberg** dans la mécanique quantique, avec l'équivalence énergie-matière de la relativité restreinte d'Einstein [6]; en d'autres termes,  $D E \sim 1 / D t$  est combiné avec  $E = m c^2$ .

La théorie quantique des champs a débuté dans les années 1920 et 1930 avec les travaux de Max Born, Werner Heisenberg, Paul Dirac et d'autres, et plus tard, avec Richard Feynman et Freeman Dyson. Mais la théorie quantique classique des champs n'explique toujours pas l'eau de manière satisfaisante.

Dans la théorie standard du champ quantique, les niveaux d'énergie des systèmes matériels sont décalés par leur interaction avec les fluctuations du champ électromagnétique (EM) des champs dans le vide.

Le premier exemple évident est le "**déplacement de Lamb**" : l'énergie d'un électron autour du proton dans un atome d'hydrogène est légèrement inférieure à la valeur calculée à partir de la théorie atomique basée sur des forces purement statiques.

Bien que ce changement soit très faible, il a fourni des preuves de la fluctuation du vide quantique qui doit être compris dans le cadre de l'électrodynamique quantique. Dans le cas de l'atome d'hydrogène, l'effet est dû aux interactions entre le courant électrique de l'électron gravitant autour du noyau et le champ électromagnétique fluctuant de l'espace environnant (dans le vide).

Pour une collection de particules, l'approche habituelle consiste à appliquer le déplacement de Lamb à chaque particule séparément. Bien que ce soit correct pour les systèmes à très faible densité comme les gaz, où la distance entre deux particules est plus grande que la longueur d'onde des champs fluctuants pertinents couplés aux systèmes, des systèmes denses - de la **matière condensée** - ou des liquides et des solides - montrent un comportement totalement différent.

Quand l'énergie est absorbée à partir du champ vide, les particules vont commencer à osciller entre deux configurations. En particulier, toutes les particules couplées à la même longueur d'onde des fluctuations, vont osciller en phase avec le champ électromagnétique CEM, ce qui signifie qu'elles seront cohérentes avec ce champ électromagnétique CEM.

L'énergie totale du système,  $E_{\text{tot}}$ , est une combinaison de l'énergie du champ électromagnétique CEM fluctuant,  $E_{\text{fl}}$ , et l'énergie d'excitation des particules passées de leur état fondamental à la configuration excitée,  $E_{\text{exc}}$ , ainsi que  $E_{\text{int}}$  lié au changement de Lamb,

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{fl}} + E_{\text{exc}} + E_{\text{int}} \quad (1)$$

Alors que  $E_{\text{fl}}$  et  $E_{\text{exc}}$  sont positifs,  $E_{\text{int}}$  est négatif. Comme l'a montré Preparata en 1995 [7],  $E_{\text{fl}}$  et  $E_{\text{exc}}$  sont proportionnelles au nombre  $N$  de particules dans un domaine de cohérence (CD), mais  $E_{\text{int}}$  est proportionnelle à  $N \sqrt{N}$ .

Par conséquent, il y a un nombre critique de particules  $N_{\text{cri}}$  enfermées dans un domaine de cohérence CD, pour lequel  $E_{\text{tot}} = 0$ . À ce moment, une **transition de phase** se produit. Les oscillations cohérentes des particules dans le domaine de cohérence CD ne nécessitent plus aucun apport extérieur d'énergie, et l'oscillation est stabilisée.

Par ailleurs, le domaine de cohérence CD va commencer à attirer et à agglomérer plus de molécules, et à les attirer les uns aux autres, transformant ainsi le gaz en liquide dans un changement de phase.

Avec une augmentation ultérieure de la densité, le système devient un exportateur net d'énergie, car l'état cohérent est stabilisé à une énergie *plus faible* que l'état fondamental incohérent (voir plus loin).

La taille du domaine de cohérence CD est juste la longueur d'onde  $\lambda$  du champ électromagnétique CEM piégé. L'oscillation cohérente collective des molécules dans le domaine

de cohérence CD se produit entre l'état fondamental cohérent et un état excité, dont le volume, en fonction de la physique atomique, est plus grand que le volume de l'état fondamental. La longueur d'onde  $\lambda$  du champ électromagnétique CEM piégé, et donc la taille du domaine de cohérence CD, est d'environ 100 nm, car il dépend de l'énergie d'excitation  $E$  selon l'équation suivante :

$$\lambda = hc / E_{\text{exc}} \quad (2)$$

Le domaine de cohérence CD est une cavité auto-produite pour le champ électromagnétique CEM; le photon du champ électromagnétique CEM piégé acquiert une masse 'imaginaire', et il est donc incapable de quitter le domaine de cohérence CD.

En raison de cet auto-piégeage du champ électromagnétique CEM, la fréquence du champ électromagnétique CEM du domaine de cohérence CD devient beaucoup plus petite que la fréquence du champ libre ayant la même longueur d'onde. Ce résultat s'applique à toutes les transitions gaz-liquide.

### **L'eau est une source cohérente d'électrons presque libres**

La particularité de l'eau est que l'oscillation cohérente survient entre l'état fondamental et un état excité à 12,06 eV (électron-volt), ce qui est juste en dessous du seuil d'ionisation de 12,60 eV, lorsque  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}^{2-}$ . Le domaine de cohérence CD de l'eau liquide de 100 nm de diamètre contient des millions de molécules d'eau, et comprend un ensemble (ou plasma) de millions d'électrons presque libres qui peuvent être donnés rapidement à des accepteurs d'électrons dissous dans l'eau.

Il y a 60 ans, le père de la biochimie, le scientifique américain **Albert Szent-Györgyi**, d'origine hongroise, avait déjà souligné l'importance de l'eau pour la vie [8, 9], et il avait proposé que l'eau organisée, située à proximité de surfaces existantes, telles que les membranes cellulaires, était capable d'induire une très longue durée d'excitation électronique de différentes espèces moléculaires présentes, ce qui les active et permet leur attraction mutuelle pour que les réactions puissent avoir lieu (voir plus loin).

Selon les calculs effectués par Preparata, Del Giudice et leurs collègues, le domaine de cohérence CD de l'eau est une superposition quantique de l'état fondamental cohérent et de l'état excité dans la proportion de 0,87 et de 0,13, respectivement, ce qui donne une énergie moyenne d'excitation par molécule de 1,56 eV. Cela se combine avec l'énergie de la fluctuation du champ électromagnétique de 3,52 eV et avec l'énergie d'interaction de -5,34 eV, selon l'équation (1), D'où il résulte ainsi une énergie *négative* de -26 eV par molécule. La fréquence renormalisée (physiquement observable) des champs électromagnétiques CEM piégés dans le domaine de cohérence CD, correspond à 0,26 eV et elle de  $6,24 \times 10^{13}$  Hz dans l'infrarouge [3, 4].

L'eau liquide est donc un système à deux fluides [5] (par analogie avec l'hélium superfluide) consistant en une phase cohérente (environ 40 pour cent du volume total à la température ambiante) et une phase incohérente. Dans la phase cohérente, les molécules d'eau oscillent entre deux configurations électroniques en phase avec un champ électromagnétique CEM en résonance.

La fréquence commune du champ électromagnétique CEM et l'oscillation électronique de la phase cohérente sont de 0,26 eV ; alors que la différence d'énergie des deux configurations électroniques de la phase cohérente est de 12,06 eV, ce qui donne une longueur d'onde de 1.000 Å, (100 nm) du domaine de cohérence.

Les autres 60 pour cent de la phase non cohérente sont extraits par les fluctuations thermiques de la phase cohérente. Les deux phases ont des **constantes diélectriques** qui sont grandement différentes : celle de la phase cohérente est de 160, en raison de la haute polarisabilité des molécules d'eau qui sont alignées de manière cohérente et qui oscillent de concert, tandis que la constante diélectrique de l'état non cohérent est d'environ 15. Les champs électriques appliqués à l'extérieur ne se font donc pas sentir dans la phase non cohérente.

Cette image de l'eau liquide, selon Del Giudice et ses collègues, se reflète dans les nombreuses observations soutenant un modèle à deux états de l'eau (voir [1, 10] ] [Two-States Water Explains All? SiS 32](#)), dans lequel une fraction importante des molécules d'hydrogène liées existent dans l'état ressemblant à celle de la glace ordinaire. En fait, les **liaisons hydrogène** - des interactions à courte portée - sont la conséquence de la cohérence induite dans les domaines de la cohérence. Mais il y a un échange rapide de molécules entre le domaine de cohérence CD et la phase non cohérente, par conséquent, il est impossible de détecter les domaines de cohérence CD lorsque le temps de détection est plus long que la période des oscillations, qui est inférieure à  $10^{-13}$  s.

## L'eau cohérente quantique et la vie

Les oxydations et les réductions, ou réactions rédox, sont les moyens de transduction de l'énergie dans les organismes vivants. Cela implique le transfert d'électrons d'une substance (le donneur) à une autre (l'accepteur) pour alimenter toutes les activités du vivant.

Mais d'où vient donc l'électron ? Il vient finalement de la décomposition de l'eau lors de la photosynthèse par les plantes vertes et par les cyanobactéries. Toutefois, il faut 12,60 eV pour décomposer l'eau, une énergie correspondant à des rayons X mous, ce qui n'est pas ce qu'utilisent les plantes vertes ni les cyanobactéries.

Il y a plus de 50 ans, Szent-Györgyi [9] avait suggéré que l'eau au niveau des interfaces en était la clé. Il a proposé que l'eau, dans les organismes vivants, existait sous deux états : l'état fondamental et l'état excité, et que l'eau au niveau des interfaces, telles que les membranes, existait à l'état excité, ce qui nécessite une énergie bien inférieure à celle qui est requise pour la décomposition de l'eau.

Un signe de l'eau à l'état excité est qu'une tension électrique devrait apparaître à la limite entre l'eau libre et l'eau interfaciale, ce qui a été en effet observé. Cette propriété de l'eau, permet au transfert d'énergie de prendre place dans les organismes vivants, assurant des excitations électroniques de longue durée. Les idées de Szent-Györgyi ont été largement ignorées par les grands scientifiques réputés qui devaient, au lieu de considérer ces idées, devenir des obsédés de la génétique moléculaire.

L'eau anormale au niveau des interfaces a été l'objet de nombreux articles de recherche et de critiques [11], et cela était déjà connu dans les années 1940, comme le soulignent Del Giudice et ses collègues [4]. La plus grande quantité, sinon la totalité de l'eau dans les organismes vivants, est de l'eau interfaciale, car elle n'est presque jamais très loin des surfaces telles que les membranes ou les macromolécules qui ont une taille de l'ordre d'un micron.

Une démonstration éclatante de l'eau interfaciale a été réalisée par l'équipe de recherche de Gerald Pollack à l'Université de Washington, aux Etats-Unis (voir [12] [Water Forms Massive Exclusion Zones](#), *SiS* 23).

[A propos de l'**eau interfaciale** et de la **zone d'exclusion**, on peut se reporter pour plus de détails à [l'annexe 1](#)].

C'est par l'utilisation d'un gel hydrophile et d'une suspension de microsphères à peine visibles à l'œil nu, que ces chercheurs ont montré que l'eau interfaciale, apparemment de quelques dizaines, voire de centaines de microns d'épaisseur, se forme à la surface du gel, avec une exclusion des microsphères, ainsi que d'autres solutés tels que des protéines et des colorants, et qu'ils ont donc appelée une 'zone d'exclusion' (EZ).

La formation de cette dernière dépend des charges fixées sur le gel. Lorsque des gels chargés négativement ont été utilisés, une différence de potentiel de -150 mV a été mesurée, conformément à la prévision de Szent-Györgyi, et les **protons** ont également été exclus, se trouvant ainsi concentrés juste en dehors de la zone d'exclusion, ce qui donne un pH faible à cet endroit. Beaucoup d'autres caractéristiques inhabituelles ont été trouvées [13].

L'eau de la zone d'exclusion EZ est environ 10 fois plus visqueuse que l'eau libre ; elle a un pic d'absorption de la lumière à 270 nm, et elle émet une fluorescence lorsqu'elle est excitée par de la lumière à cette longueur d'onde. Cette illumination de l'eau de la zone d'exclusion EZ augmente, en particulier par l'infrarouge, avec la profondeur de la couche.

Del Giudice et ses collègues [4] suggèrent que l'eau de la zone d'exclusion EZ est en fait un gigantesque domaine de cohérence stabilisé sur la surface du gel attractif. Dans la cellule, la zone d'exclusion EZ serait formée sur les surfaces des membranes et des macromolécules, comme cela avait été prévu par Szent-Gyorgyi.

C'est parce que l'eau est de l'eau cohérente excitée par un plasma d'électrons presque libres, qu'elle peut facilement transférer des électrons aux molécules sur sa surface.

L'interface entre l'eau interfaciale parfaitement cohérente et l'eau libre, devient une "pile redox". En accord avec cette proposition, l'eau de la zone d'exclusion EZ agit en fait comme une batterie, comme l'a démontré l'équipe de recherche Pollack (voir [Liquid Crystalline Water at the Interface](#), *SiS* 39).

Del Giudice et ses collègues affirment également que les domaines de cohérence CD de l'eau peuvent facilement être excités, et qu'ils sont capables de collecter des petites excitations externes pour produire de simples tourbillons cohérents (vortices) dont l'énergie est la somme de toutes les petites énergies d'excitation, transformant l'énergie de haute entropie à l'origine, en une énergie cohérente de faible entropie, qui est piégée de façon stable dans le domaine de cohérence CD de l'eau. Cette énergie cohérente permet à son tour qu'un transfert sélectif d'énergie cohérente puisse avoir lieu dans la manière suivante.

Toutes les molécules ont leur propre spectre de fréquences vibratoires. Si le spectre de la molécule contient une fréquence correspondant à celle du domaine de cohérence CD de l'eau, elles seraient attirées par ce domaine de cohérence CD, et deviendraient un participant invité dans l'oscillation cohérente du domaine de cohérence CD, et se déposeraient à la surface du domaine de cohérence CD.

Par ailleurs, l'énergie d'excitation du domaine de cohérence serait disponible pour les molécules hôtes comme énergie d'activation pour que des réactions chimiques puissent prendre place. Cette sélectivité peut être la raison pour laquelle, sur une centaine de différents acides aminés, seulement 20 ont été sélectionnés pour la fabrication des protéines dans les organismes vivants.

Il y a en effet des preuves indépendantes selon lesquelles les molécules qui participent à une réaction biochimique, partagent une fréquence commune, ce qui est la façon dont elles s'attirent l'une l'autre, essentiellement par une résonance à la même fréquence (voir [15] [The Real Bioinformatics Revolution](#), *SiS* 33).

Il est donc probable que les réactifs soient attirés à la surface des mêmes domaines de cohérence CD de l'eau, où la réaction aura lieu et où elle sera grandement facilitée par l'énergie d'excitation de l'eau du domaine d'excitation CD. Après la réaction, l'énergie libérée peut également être absorbée par l'eau du domaine de cohérence CD, passant à la fréquence d'oscillation du domaine de cohérence CD, et donc changer les espèces moléculaires qui se trouvent attirées, ce qui, en principe, facilite la réaction suivante qui aura lieu par une voie chimique.

La cohérence quantique de l'eau est vraiment ce qui rend la vie possible. Elle pourrait également compter dans d'autres phénomènes étranges tels que la formation d'un pont d'eau "dure" flottant dans l'espace juste au-dessus de deux béciers d'eau placés l'un à côté de l'autre qui ne s'est pas cité et soumis à un fort champ électrique, comme cela a été expliqué par ailleurs par Del Giudice et ses collègues [16], ainsi que les réactions nucléaires à basse énergie (ou '**fusion froide**') [17] \*, et même les effets non thermiques du champ électromagnétique sur les systèmes biologiques et éventuellement l'homéopathie (voir [18] \*\* [Quantum Coherent Water, Non-Thermal Effects, & Homeopathy](#), *SiS* 51).



\* Version en français intitulée "La fusion froide est-elle vraiment prête pour une production commerciale ?" par le Dr. Mae-Wan Ho. Traduction et compléments de Jacques Hallard ; accessible sur le site <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article187>

\*\* Version en français : « L'eau cohérente quantique, les effets non-thermiques des champs électromagnétiques et l'homéopathie » par le Dr. Mae-Wan Ho. Traduction et complément de Jacques Hallard ; mercredi 26 novembre 2014 - ISIS Biologie Eau - « Comment l'eau en cohérence quantique peut intervenir pour exercer des effets biologiques spécifiques des champs électromagnétiques très faibles, et peut-être aussi dans l'homéopathie... ». Article complet sur le site : <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article461>

© 1999-2011 L'Institut de Science dans la société

[Contactez l'Institut de science dans la société](#)

MATÉRIEL SUR CE SITE NE PEUVENT ETRE REPRODUITE SOUS QUELQUE FORME SANS AUTORISATION EXPLICITE. POUR OBTENIR SON APPROBATION, S'IL VOUS PLAÎT [CONTACTEZ-ISIS](#)

## **Annexe 1 - L'eau interfaciale et la zone d'exclusion**

« La vie est basée sur l'eau et l'électricité (partie 2) : L'eau sous forme de cristaux liquides et en cohérence quantique est le champ vital et l'électricité du corps vivant » par le Dr Mae-Wan Ho. Traduction et compléments de Jacques Hallard, lundi 18 février 2013. ISIS Biologie Physique.

Partie 1 - Le champ vital électrodynamique et l'électricité du corps vivant

Partie 2 - L'eau sous forme de cristaux liquides et en cohérence quantique est le champ vital et l'électricité du corps vivant

Mae-Wan Ho Conférencière invitée d'honneur à la rencontre 'Electric Universe 2013 : The Tipping Point 2013', à Albuquerque, dans le Nouveau-Mexique aux Etats-Unis. du 3 au 6 janvier 2013.

**Extrait de cet article** - Une démonstration éclatante de l'eau interfaciale a été réalisée par l'équipe de recherche de Gerald Pollack à l'Université de Washington aux Etats-Unis (voir [20] Water Forms Massive Exclusion Zones, SiS 23).

Avec l'utilisation d'un gel hydrophile et d'une suspension de microsphères à peine visibles à l'œil nu, ils ont montré que l'eau interfaciale, apparemment de dizaines de microns, voire des centaines de microns d'épaisseur, se forme sur la surface du gel, ce qui exclut, éloigne les microsphères ainsi que d'autres solutés tels que les protéines et les teintures : cet espace a donc été appelé une « zone d'exclusion » (EZ).

La zone d'exclusion EZ de l'eau est environ 10 fois plus visqueuse que l'eau en vrac, elle présente un pic d'absorption de la lumière à 270 nm, et elle émet une fluorescence. Je suis sûr que Gerry va nous en dire plus à propos de cette découverte remarquable.

Del Giudice et ses collègues [15] suggèrent que la zone d'exclusion de l'eau est en fait un domaine cohérent géant qui est stabilisé sur la surface du gel attractif. A l'intérieur de la cellule, la zone d'exclusion EZ se formerait sur les surfaces des membranes et des macromolécules, comme cela avait été prévu par Szent-György.

Parce que l'eau est de l'eau cohérente excitée par un plasma d'électrons presque libres, elle peut facilement transférer des électrons aux molécules qui se trouvent à sa surface. L'interface entre l'eau interfaciale parfaitement cohérente et l'eau en vrac normale devient une « pile redox ». En accord avec cette proposition, la zone d'exclusion EZ de l'eau agit en fait comme une batterie, comme l'équipe de recherche de Pollack l'a démontré (voir [21] Water Forms Massive Exclusion Zones, SiS 23) \*.

[\* On peut également consulter à ce sujet l'article suivant : ' L'eau électrique' : L'eau se charge en électricité lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil : cela offre la possibilité d'une réserve inépuisable d'énergie propre et remet en question notre compréhension conventionnelle de la bioénergétique, selon le Dr. Mae-Wan Ho Rapport de l'ISIS en date du 25/06/2009 ; accessible sur le site : <http://www.i-sis.org.uk/WaterElectr...> ].

Article complet à lire sur le site : <http://www.isias.lautre.net/spip.php?article285>

## **Eau libre - Eau liée - Eau interfaciale**

### **Eau libre** - D'après Wikipédia

 Cette page d'[homonymie](#) répertorie les différents sujets et articles partageant un même nom.

**Eau libre** peut faire référence à :

- Eau dégagée de [banquise](#) ou de végétation,
- Eau non liée à des solutés en biochimie,
  - o ex : la [vasopressine](#) permet la réabsorption d'eau sans être accompagnée par un ion Na<sup>+</sup>,
- [Nage en eau libre](#), une discipline sportive,

Source : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau\\_libre](http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_libre)

### **Eau libre - Une définition**

Il s'agit de l'eau éloignée de la paroi du ballon de la chaudière, par opposition à l'eau proche de cette paroi. D'ailleurs, lorsqu'on analyse l'eau de chaudière, c'est bien cette « eau libre » que l'on prélève, et non celle située sur les parois, sur lesquelles il peut y avoir des dépôts. L'eau libre ne doit pas être confondue avec l'eau en vrac, comme le précise très bien Termium :

« L'expression anglaise «bulk water» peut signifier aussi de l'«eau en vrac», soit de l'eau transportée ou exportée en grande quantité. L'expression «bulk water exportation» se rend par «exportation d'eau en vrac» ou par «exportation d'eau (douce) en grande quantité / en fort volume», ce qui se fait habituellement par navires-citernes ou bateaux-citernes. Donc, ne pas confondre les deux notions, «eau libre» et «eau en vrac». »

Source [http://www.proz.com/kudoz/english\\_to\\_french/petroleum\\_eng\\_sci/1544404-bulk\\_water.html](http://www.proz.com/kudoz/english_to_french/petroleum_eng_sci/1544404-bulk_water.html)

**Couche interfaciale** [/kufɛ.tɛʁfa.sjal/](#) Une autre définition

(Chimie physique) Couche non homogène de transition entre deux phases homogènes. Source [http://fr.wiktionary.org/wiki/couche\\_interfaciale](http://fr.wiktionary.org/wiki/couche_interfaciale)

## Notion de tension interfaciale

Du point de vue mécanique, lorsque deux phases sont en présence, tout se passe comme si elles étaient séparées par une membrane sans épaisseur uniformément tendue. Cette membrane fictive, qui remplace mécaniquement l'interface (phase volumique de faible épaisseur) est appelée "surface de tension".

### Surface de tension

Considérons une ligne tracée sur la surface, qui sépare cette surface en deux régions (1) et (2), et  $dl$  un élément de cette ligne. La force exercée à travers l'élément  $dl$  par la région (1) sur la région (2) est donnée par l'équation :

$$dF = \sigma dl$$

où  $\sigma$  est la tension interfaciale.

Cette force est normale à l'élément  $dl$ . La condition de tension uniforme stipule que  $\sigma$  est indépendant de la direction de  $dl$ , et uniforme sur toute la surface.

De même le travail nécessaire pour augmenter la surface de  $d\Omega$  est donné par :

$$dW = \sigma d\Omega$$

Il existe différentes méthodes de mesure de la tension interfaciale. La plus simple est de mesurer la force nécessaire à l'arrachement d'un anneau d'une phase à l'autre dans le cas de 2 phases (liquide/liquide ou liquide/vapeur).

Dans la littérature, on trouve une infinité de définition de la tension interfaciale  $\sigma$ . Nous proposons celle-ci :

### Définition de la tension interfaciale

La tension interfaciale correspond au travail minimum "réversible" qu'il faut fournir pour amener des molécules (qui sont liées les unes aux autres par des forces de cohésion) du cœur du matériau ou d'une autre phase à sa surface afin d'augmenter la surface d'un incrément (ou accroissement), ou de la déformer. Cette énergie est rapportée à l'unité d'aire de surface ; elle s'exprime en joules par mètre carré (J/m<sup>2</sup>) ( Andrieu et Müller 2005, Béranger et Mazille 2005).

Source [http://nte.mines-albi.fr/CristalGemme/co/uc\\_TensionInterfaciale.html](http://nte.mines-albi.fr/CristalGemme/co/uc_TensionInterfaciale.html)urce

**Tension superficielle** - [mesure tension interfaciale](#) | [Tension superficielle](#)

La **tension superficielle**, ou **énergie d'interface**, ou **énergie de surface**, est la tension qui existe à la surface de [séparation](#) de deux milieux.

Cet effet permet par exemple aux insectes de marcher sur l'eau, à la rosée de ne pas s'étaler sur les pétales de fleurs, et explique la [capillarité](#). La tension superficielle explique aussi la formation des bulles de savon.

## **Mécanisme**

### **Interface liquide/gaz**

Au sein d'un [fluide](#) (liquide ou gaz), les molécules exercent entre elles des forces d'attraction ou de répulsion : [force](#) de Van der Waals (attraction), force [électrostatique](#) (attraction ou répulsion). On parle de " forces intermoléculaires ".

Si l'on considère un [corps pur liquide](#), composé d'un seul type de molécules, les molécules s'attirent (sinon, elles ne formeraient pas une phase). Au sein du liquide, chaque molécule est tirée dans toutes les directions par les molécules voisines de liquide : la résultante des forces est nulle.

Dans le [vide](#), une molécule n'est, par contre attirée par rien. Donc, à la [frontière](#) liquide/vide, les molécules sont attirées côté liquide mais pas côté vide ; la résultante des forces s'exerçant sur les molécules de la surface est donc dirigée vers l'intérieur du liquide. Ceci tend la surface.

Dans le cas d'une interface liquide/vide, c'est donc un effet au sein d'un liquide qui amène la surface à se déformer comme une membrane élastique.

Mais on sait que soumis au vide, une partie du liquide s'évapore (voir l'article [Pression de vapeur saturante](#)). Si cette [pression](#) de [gaz](#) est faible, le liquide est soumis à une faible compression, et les molécules de la surface sont également soumises à une faible attraction de la part de leurs paires de la [phase](#) gazeuse ; mais la [densité](#) du gaz étant très inférieure à celle du liquide, cette attraction est négligeable.

Si maintenant il y a un autre gaz au-dessus (par exemple de l'air), le phénomène est similaire. Le liquide est soumis à la pression du gaz, et les molécules à la surface du liquide sont soumises à l'attraction ou à la répulsion de la part des molécules du gaz. Du fait de la faible densité du gaz par rapport au liquide, on néglige en général cette dernière contribution.

La forme de la surface résulte donc de l'équilibre entre la pression du gaz, l'attraction par l'intérieur du liquide, et le [poids](#) si l'on est en présence de [pesanteur](#).

Notons que le liquide peut être sous la forme d'une pellicule ; cette pellicule est alors soumise à la pression du gaz des deux côtés. Si les forces d'attraction au sein du liquide sont faibles, la pellicule ne tient pas. À l'inverse, si ces forces sont fortes, la pellicule tient bien et a un comportement élastique (bulle de savon).

### **Interface liquide/liquide**

Lorsque deux liquides  $A$  et  $B$  sont miscibles, ils forment une seule phase. Par contre, s'ils sont non miscibles, ils forment deux phases séparées.

S'ils sont non miscibles, c'est que les molécules se repoussent. Les molécules situées à l'interface sont donc soumises :

- pour les molécules de  $A$  :
  - o à une attraction vers l'intérieur du liquide  $A$  ;
  - o à une répulsion de la part des molécules de  $B$  ;
- pour les molécules de  $B$  :
  - o à une attraction vers l'intérieur du liquide  $B$  ;
  - o à une répulsion de la part des molécules de  $A$ .

On voit donc que la résultante des forces est située vers l'intérieur de chacun des liquides dans tous les cas.

La forme de l'interface est donc déterminée par

- les forces d'attraction au sein des liquides,  $A/A$  et  $B/B$  ;
- la force de répulsion entre  $A$  et  $B$  ;
- la pesanteur le cas échéant.

C'est le cas de l'eau et de l'huile, de la vinaigrette :

- soit l'huile forme une couche au-dessus de l'eau ;
- soit l'huile forme des gouttelettes au sein de l'eau (émulsion).

### **Interface triple : Le contact solide - liquide - vapeur**

On est souvent en présence d'une interface triple solide/liquide/gaz, par exemple

- goutte posée sur un solide ;
- goutte suspendue à un solide ;
- bord d'un verre.

Les interactions liquide/gaz ont été décrites ci-dessus.

De même, les molécules du liquide peuvent être attirées ou repoussées par les molécules du

solide. La forme de l'interface au niveau du [point](#) triple va donc être déterminée par :

- la force d'attraction au sein du liquide ;
- l'attraction ou la répulsion de la part du solide ;
- la pression du gaz, et éventuellement l'attraction ou la répulsion par le gaz ;
- la [gravité](#).

S'il y a attraction entre le liquide et le solide :

- la goutte posée sur le solide va avoir tendance à s'étaler ;
- la goutte suspendue va être retenue ;
- le liquide va remonter le long du verre (ménisque, capillarité).

S'il y a répulsion entre le liquide et le solide :

- la goutte posée sur le solide va avoir tendance à " se regrouper ", à prendre une forme sphérique ;
- la goutte suspendue va tomber ;
- le liquide va s'incurver vers le haut.

Des composés permettent de diminuer la tension superficielle, ce sont des tensioactifs.

Lire la suite sur le site <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=6786>  
A propos de l'eau interfaciale, on peut se reporter à un travail pédagogique concernant la cellule vivante :

**La cellule** - Magnifique ouvrage pédagogique disponible sur Internet. [Nous avons conservé dans cette reproduction les polices, les illustrations, les couleurs et la mise en page de l'auteur qui ne s'est pas cité. .

Retour [Histoire de science](#) - [page d'accueil](#), [cours lycée](#)

*Cette page a été modifiée en octobre 2007 dans une nouvelle page: [Au-delà de la cellule](#)*

La **théorie cellulaire** (Buffon, Oken, Vischov) comprend deux affirmations :

- \* tout être vivant est composé en totalité (et uniquement) d'au moins une cellule
- \* et toute cellule est issue d'une autre cellule.

Affirmations auxquelles [G. Canguilhem](#) ajoute deux autres axiomes (dont il attribue la paternité aux personnalités dont les noms sont cités entre parenthèses) :

- \* les vivants non composés sont unicellulaires (Dujardin, Haeckel)
- \* l'œuf d'où naissent les organismes vivants sexués est une cellule dont le développement s'explique uniquement par la division (Schwann, Kölliker).

**La cellule vivante (en travaux 2005)**

#### Sources:

*L'eau dans la cellule vivante; État physique, fonctions*, Pascale Mentré, 2002, in *L'eau dans les aliments*, M. Le Mestre, D. Lorient et D. Simatos coord., Tec & Doc (ISBN: 2-7430-0523-8)

*L'eau dans la cellule*, Pascale Mentré, 1995, Masson

*Encyclopedia Universalis*, article "[vie](#)", G. Canguilhem.

[La théorie cellulaire](#), G. Canguilhem in *La connaissance de la vie*, Hachette, 1952 (pp 47-98)

*Comment les cellules construisent l'animal*, Rosine CHANDEBOIS, 1999, Phénix éditions, Paris

*Le gène et la forme (ou la démythification de l'ADN)*, Rosine CHANDEBOIS, 1989, Ed. Espaces 34

*Le cycle cellulaire chez les animaux et les végétaux*, Jean Clos, Marc Coumans et Yves Muller, *Biologie-Géologie*, 3-2002, p 497-564

Un site en anglais (de Martin Chaplin) particulièrement riche:

<http://www.sbu.ac.uk/water/index.html>

Un site à recommander avec des vidéos et un texte

clair : [http://www.cerimes.fr/e\\_doc/cellule/cellule.htm](http://www.cerimes.fr/e_doc/cellule/cellule.htm)

#### Avertissement

Contrairement aux apparences, relayées par le titre et les intertitres, cette page n'est qu'un essai de synthèse d'éléments modernes et anciens qui, bien souvent, dépassent le cadre de la [théorie cellulaire](#) mais, pour cette fois encore, sans chercher à le dépasser.

La cellule vivante n'est pas plus une chambre (*cellula* en latin), qu'une solution aqueuse, ni encore qu'une unité d'un programme du vivant. Une cellule est tout simplement un moyen commode que scientifiques et philosophes ont trouvé pour décrire le vivant. C'est une unité structurale et fonctionnelle. La cellule comme unité de structure découle du premier axiome de la théorie (tout être vivant est composé d'au moins une cellule). La cellule comme unité fonctionnelle est le plus petit élément VIVANT, qui possède TOUTES les caractéristiques du vivant. Si on reprend la formulation qui m'est chère, c'est la plus petite unité AU TRAVAIL: plus petite unité qui réalise un travail de nutrition, de relation et de reproduction. Le deuxième axiome de la théorie cellulaire (toute cellule est issue d'une autre cellule) permet de repousser la question de la vie hors du champ biologique et vers le champ philosophique, mais n'est pas une réponse. La biologie doit se contenter de cette propriété du vivant qu'elle ne peut relier à aucun objet sans sortir de sa méthode (qui est expérimentale et qui ne peut répondre à la question de la vie). La question de la pluricellularité est solutionnée en disant que chaque cellule est vivante mais n'est pas un être vivant, autonome. Seule la totalité de l'être vivant, composé d'innombrables cellules, peut être qualifié d'être vivant. C'est aussi une fuite ou une esquivé et non une réponse. Un début de réponse (philosophique) peut être apporté si l'on considère l'organisme pluricellulaire comme une société de cellules.

#### Plan de cette page:

##### 1 [Deux barrières à ouvrir pour une nouvelle conception de la cellule:](#)

[1ère barrière entrouverte](#): l'**unité structurale** de la cellule ne vient pas de ses membranes (fluides) ou de structures macromoléculaires plus ou moins complexes baignant dans une solution aqueuse mais de son **eau** qui est, pour sa quasi-totalité, "coincée" au sein de la foule de macromolécules qui remplit la cellule: cette eau est interfaciale (structurée) et c'est elle qui contrôle le fonctionnement cellulaire:

**Une cellule surpeuplée de macromolécules** (le terme anglais de *crowded* est

particulièrement évocateur).

**Une cellule riche en eau mais en eau structurée et fonctionnelle.**

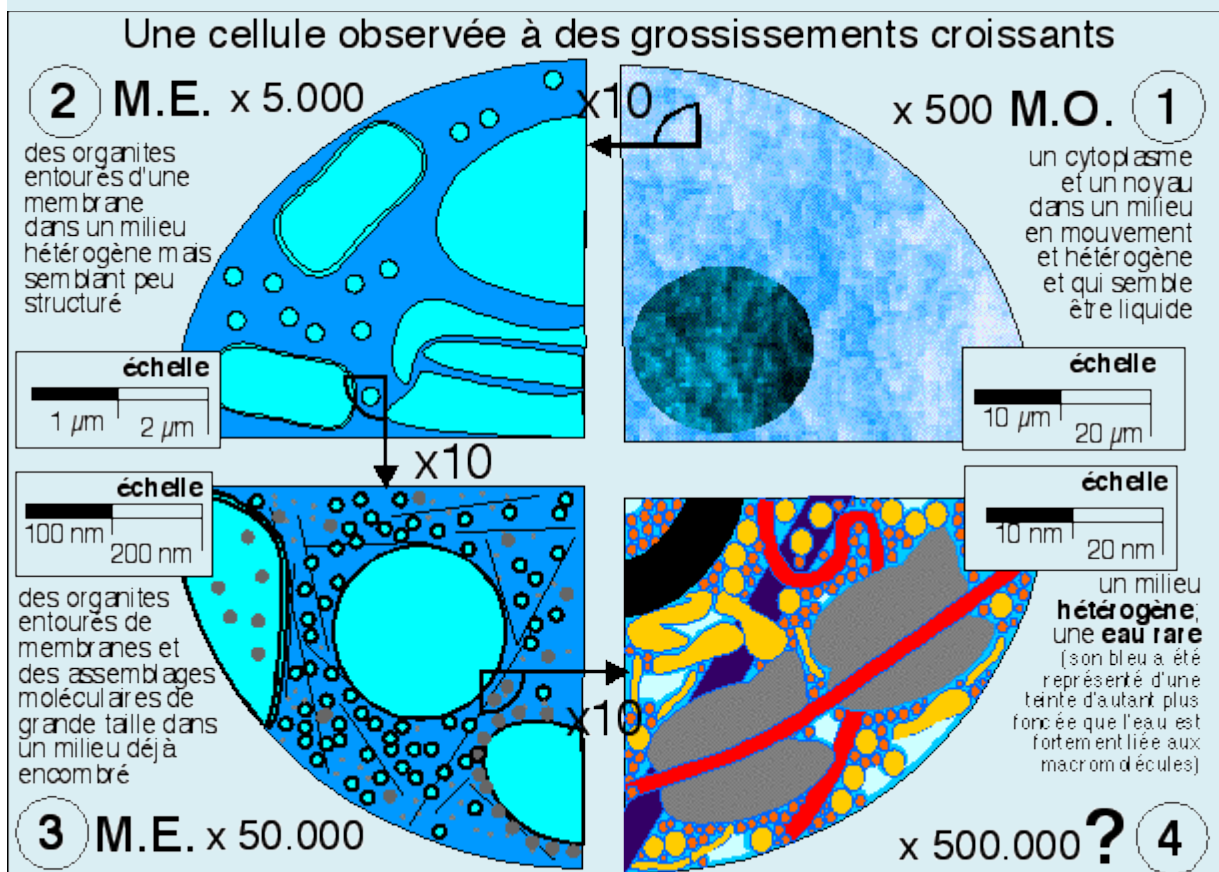
2ème barrière entrouverte: l'**unité fonctionnelle** cellulaire ne vient pas d'une chimie du hasard (les lois probabilistes des milieux homogènes) mais d'une biochimie qui pourrait être fondée sur la **finalité**:

**la vie cellulaire est un travail orienté vers une fin biologique.**

2. Des chiffres anciens, un regard nouveau (*en cours*)

Ce schéma personnel ne doit pas être utilisé sans mon accord; je suis intéressé par toute remarque à son sujet

Ce schéma a pour but de fixer les ordres de grandeurs des dimensions et des objets observables ou imaginés aux différentes échelles (il a été réalisé pour une cellule eucaryote mais peut aussi s'appliquer, en tenant compte de l'absence de noyau et de structures membranaires internes, à la cellule procaryote):



- le **microscope optique (M.O. - 1)** ne permet guère que de voir le noyau et le cytoplasme dont le contenu nous paraît clair mais hétérogène (un peu grumeleux). On peut aussi entr'apercevoir de gros organites comme des vacuoles, des chloroplastes ou des mitochondries. On peut colorer la cellule sans la tuer et voir par exemple les



- chloroplastes se déplacer entraînés par les mouvements du cytoplasme.
- Au **microscope électronique (M.E. 2 et 3)** la cellule est morte et fixée. Les structures ne sont pas vivantes mais mortes. De plus, on ne voit que celles qui fixent le colorant utilisé (tétroxyde d'osmium). On observe cependant une grande variété de structures. En **2** on distingue des mitochondries, des vésicules et les citernes du réticulum. En **3** les plus gros assemblages protéiques apparaissent comme les ribosomes et les microfilaments du cytosquelette.
  - L'étape 4 n'est pas vraiment accessible à la microscopie pour des structures complexes en place mais représente ce que l'on peut imaginer être la réalité à partir d'observations de quelques éléments réellement observés mais isolés de la cellule et d'autres structures. On reconnaîtra en partant du coin gauche et en se déplaçant en diagonale vers le bas à droite: une vésicule dont la membrane (en noir) est une structure de près de 8 nm d'épaisseur, des macromolécules (en jaune) avec leur(s) couche(s) d'eau liée (les plus grosses protéines globulaires atteignent typiquement 5 nm de diamètre), un microfilament fin dessiné en arrière plan (en violet, leur diamètre varie de 5 nm pour les plus fins à 25 nm pour les plus épais), deux ribosomes (en gris, de diamètre environ 20 nm) autour d'un ARNm (en rouge, un filament de diamètre inférieur à 2 nm qui est le diamètre de la molécule d'ADN); les molécules organiques plus petites (de diamètre voisin du nanomètre - pensez qu'un aa comme la phénylalanine atteint déjà le nanomètre si l'on tient compte de sa couche d'eau liée - voir plus bas) avec leur(s) couche(s) d'eau liée encombrant le hyaloplasme; l'eau "libre" (en bleu clair) est rare et concentrée dans certains espaces.

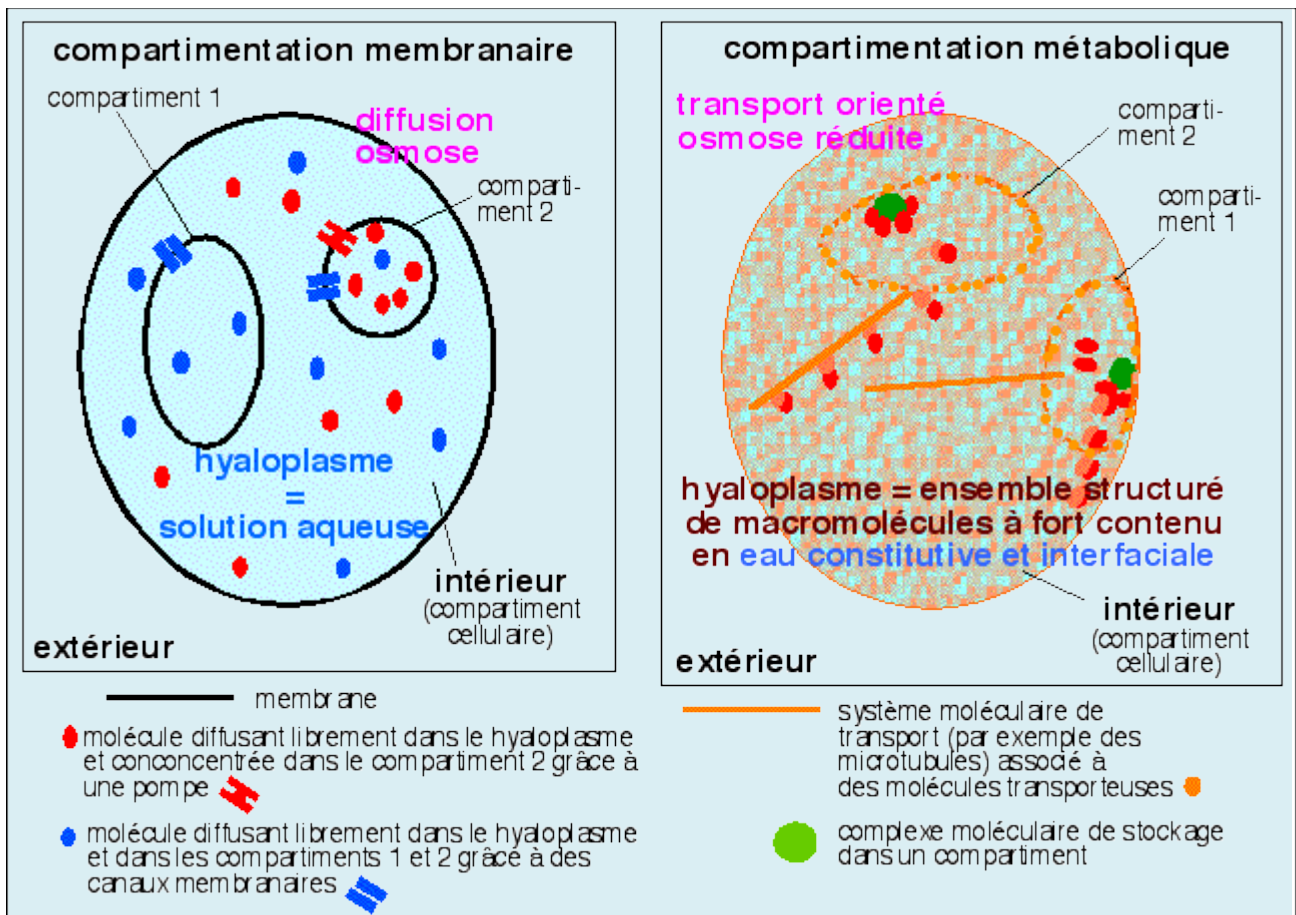
## **1. Deux barrières à ouvrir pour une nouvelle conception de la cellule**

**1ère barrière entrouverte: l'unité structurale de la cellule ne vient pas de ses membranes (fluides) ou de structures macromoléculaires plus ou moins complexes baignant dans une solution aqueuse mais de son eau qui est, pour sa quasi-totalité, "coincée" au sein de la foule de macromolécules qui remplit la cellule: cette eau est interfaciale (structurée) et c'est elle qui contrôle le fonctionnement cellulaire:**

**Une cellule surpeuplée de macromolécules (le terme anglais de *crowded* est particulièrement évocateur).**

**Une cellule riche en eau mais en eau structurée et fonctionnelle.**

*Deux visions de la cellule s'affrontent encore...*



<i>une vision classique... physique</i>	<i>vers une vision plus complexe... biologique</i>
l'eau, solution du vivant moléculaire	l'eau structurante, structurée et exerçant un contrôle fonctionnel sur les complexes moléculaires du vivant
une cellule est un sac rempli d'eau et de molécules organiques et minérales <b>en solution aqueuse</b> , siège d'innombrables réactions chimiques qui façonnent sa forme et son activité	une cellule est <b>entièrement structurée</b> , dynamique (en évolution: naissance, vie et mort), autonome (au fonctionnement intégré mais dont l'unité dépasse la somme des parties), vivante (au travail: de relation, de nutrition et de reproduction); les molécules ne sont plus en solution mais complexées, transportées, associées à des structures d'ordre supérieur
les structures intracellulaires sont des <b>assemblages moléculaires stables</b> : des complexes fonctionnels comme les ribosomes ou structurants comme les membranes (auxquelles sont associés des complexes fonctionnels enzymatiques par exemple). Ces structures sont <b>dispersées ou regroupées dans le hyaloplasme, qui est fluide (ou à l'état de</b>	<b>La totalité de la cellule peut être décrite à l'aide d'assemblages moléculaires et fonctionnels</b> comme une membrane ou un ribosome: il n'y a pas d'espace, sauf vésicules particulières, où règne un milieu aqueux où puisse s'appliquer la chimie des solutions; lorsqu'on décrit un système moléculaire en interaction avec l'ADN, il faut prendre en compte toutes les relations de voisinage structural et non pas seulement les molécules que l'on pense pouvoir s'accoler directement à l'hélice d'ADN: l'action des molécules peut être mécanique par resserrement de la double hélice et agir donc à distance, voir, depuis la membrane cytoplasmique... changer notre conception du hyaloplasme change singulièrement notre approche des

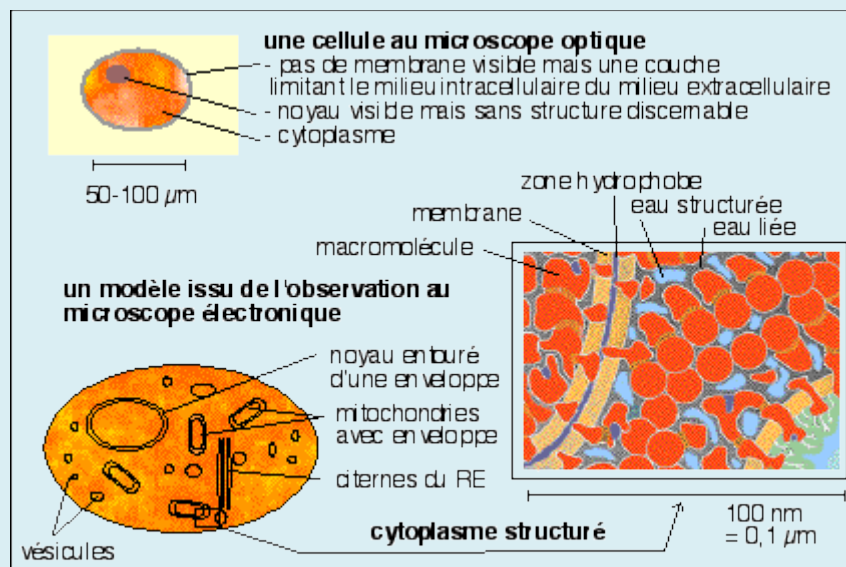
gel).

**régulations... qui** ne sont plus toujours chimiques mais qui peuvent être **mécaniques**, thermiques ou ioniques...

**Les membranes délimitent des compartiments** où sont réalisées certaines parties du métabolisme; les molécules hydrosolubles diffusent librement dans chaque compartiment et passent d'un compartiment à l'autre à l'aide de pompes ou de canaux

**Les compartiments ne sont plus seulement membranaires** mais doivent être redéfinis en terme d'accessibilité des molécules aux différentes réactions chimiques réalisées dans ce compartiment et en termes d'échanges entre compartiments: la compartimentation est aussi bien temporelle que spatiale: le terme de division du travail est on ne peut plus d'actualité; les molécules sont toujours transportées dans un compartiment aussi bien que d'un compartiment à l'autre. Ces transports peuvent rendre compte de métabolismes rapides.

*De l'observation à l'imagination*



Un essai de représentation d'un modèle biologique d'une cellule "théorique" comme **"complexe moléculaire structuré"**

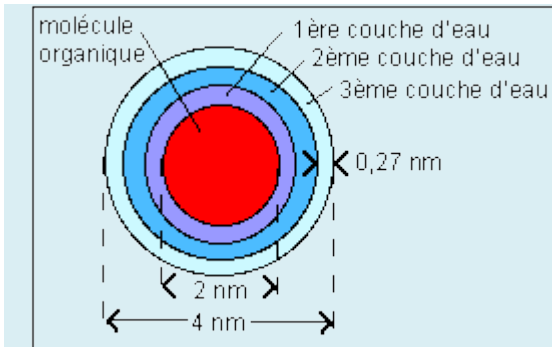
*(le schéma du cytoplasme est extrait et très modifié de Pascal Mentré, L'eau dans la cellule, Masson, 1995, p 173 fig 8.7)*

Quelques points majeurs, essentiellement d'après Mentré, 2002 (à qui on se reportera pour les références aux publications scientifiques dont les auteurs ne seront pas cités dans cette page de synthèse, étant donné que je ne les ai pas lus... ):

- l'eau représente près de 80% en masse de la cellule vivante mais **cette eau est à près de 80% sous forme d'un film interfacial d'environ 1,1 nm d'épaisseur** qui se trouve entre les molécules organiques structurant la cellule. Il reste donc **20% d'eau libre où s'appliquent les lois de la chimie des solutions aqueuses**, principalement de l'eau présente dans des vésicules.

Pour comprendre comment une augmentation de la surface de contact, qui est due à la faible taille des macromolécules, augmente considérablement le volume d'eau associé à un ensemble de macromolécules, on peut prendre l'exemple de l'ADN: à chaque nucléotide est associé environ 20 molécules d'eau (eau "liée", très structurée, non congelable) ce qui représente environ 80% du poids de la molécule d'ADN. Si l'on place de l'ADN cristallisé en

solution aqueuse il gonfle, ce que l'on peut expliquer par la mise en place d'au moins une seconde couche d'eau entre les brins d'ADN, couche moins structurée et congelable, dont l'origine pourrait provenir du caractère fortement électrolytique de la molécule d'ADN. Dans une cellule vivante, l'eau associée à l'ADN atteint ainsi une masse nettement supérieure à la masse d'ADN. On peut donc comprendre que, tout comme ses composants moléculaires, dont la forme est à la fois stabilisée par l'eau et due en partie à cette hydratation, la cellule contient une énorme quantité d'eau, fortement structurante et structurée.



L'ADN, une molécule très hydratée

Pour une molécule organique de 2 nm de diamètre (de l'ordre de celui de la molécule d'ADN) supposée sphérique (donc de volume  $33,5 \text{ nm}^3$ ), une couche d'hydratation dont l'épaisseur est estimée à 0,27 nm correspond à un volume de  $(\frac{4}{3} \pi (2,27^3 - 2^3) \text{ nm}^3 = 15,5 \text{ nm}^3)$  soit un volume relatif de  $(\frac{2,27^3 - 2^3}{2^3})$  soit **46%**. Avec une deuxième couche d'eau on atteint **105 %** et **177%** avec une troisième couche d'eau.

Il faut cependant raisonner en **masse** et non en volume et avec des molécules de **forme très complexe**, mais toute augmentation de la surface de la molécule va bien de le sens d'une augmentation de la masse d'eau associée dans des proportions très importantes qui ne sont évidentes que pour un chimiste.

Il est évident que, si la majorité des scientifiques actuels s'accordent pour la présence d'une couche d'eau "liée", l'épaisseur de la "**coquille d'hydratation**" est fortement discutée par les spécialistes.

La première couche d'eau est appelée **eau liée** (*bound water*).

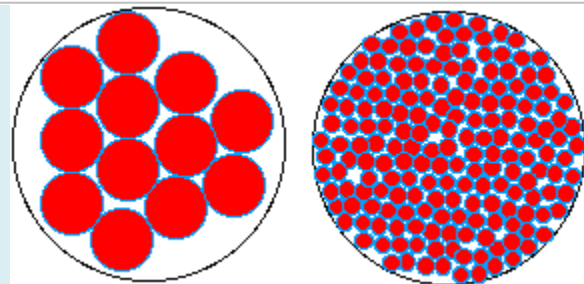
Les couches d'eau d'ordre supérieur sont appelées **eau structurée** (*structured*) ou polarisée (*polarized*) ou contrainte (*strained*) ou encore vicinale (*vicinal*).

L'eau dont les molécules ne sont pas en interaction avec la macromolécules forme une eau "libre" qualifiée d'**eau bulk**. C'est par exemple l'eau contenue dans des vésicules (de pinocytose) d'un diamètre de l'ordre de 100 nm ou supérieur (vacuole des plantes ?).

Enfin il existe aussi une **eau constitutive** des macromolécules, inextractible sans modifier profondément la structure et la fonction de la molécule.

En sachant que l'empilement de sphères le plus dense atteint près de 75% du volume total (c'est la fameuse conjecture de Kepler qui a reçu une démonstration faisant intensément appel à l'informatique par Hales en 1999), on peut faire entrer approximativement, dans un volume  $V_0$  donné d'environ  $70 \mu\text{m}^3$ , 100 **sphères** de 1 micromètre ( $1 \mu\text{m}$ ) de diamètre, possédant une **couche d'eau liée** environ 1,1 nm d'épaisseur ou 73 millions de sphères d'un diamètre 100 fois plus petit (10 nm) avec une couche d'eau liée de la même épaisseur.

DIVISER pour CROÎTRE en surface



volume  $V_0$  (environ  $70 \mu\text{m}^3$ )

100 sphères

73 millions de sphères

1  $\mu\text{m}$  de diamètre

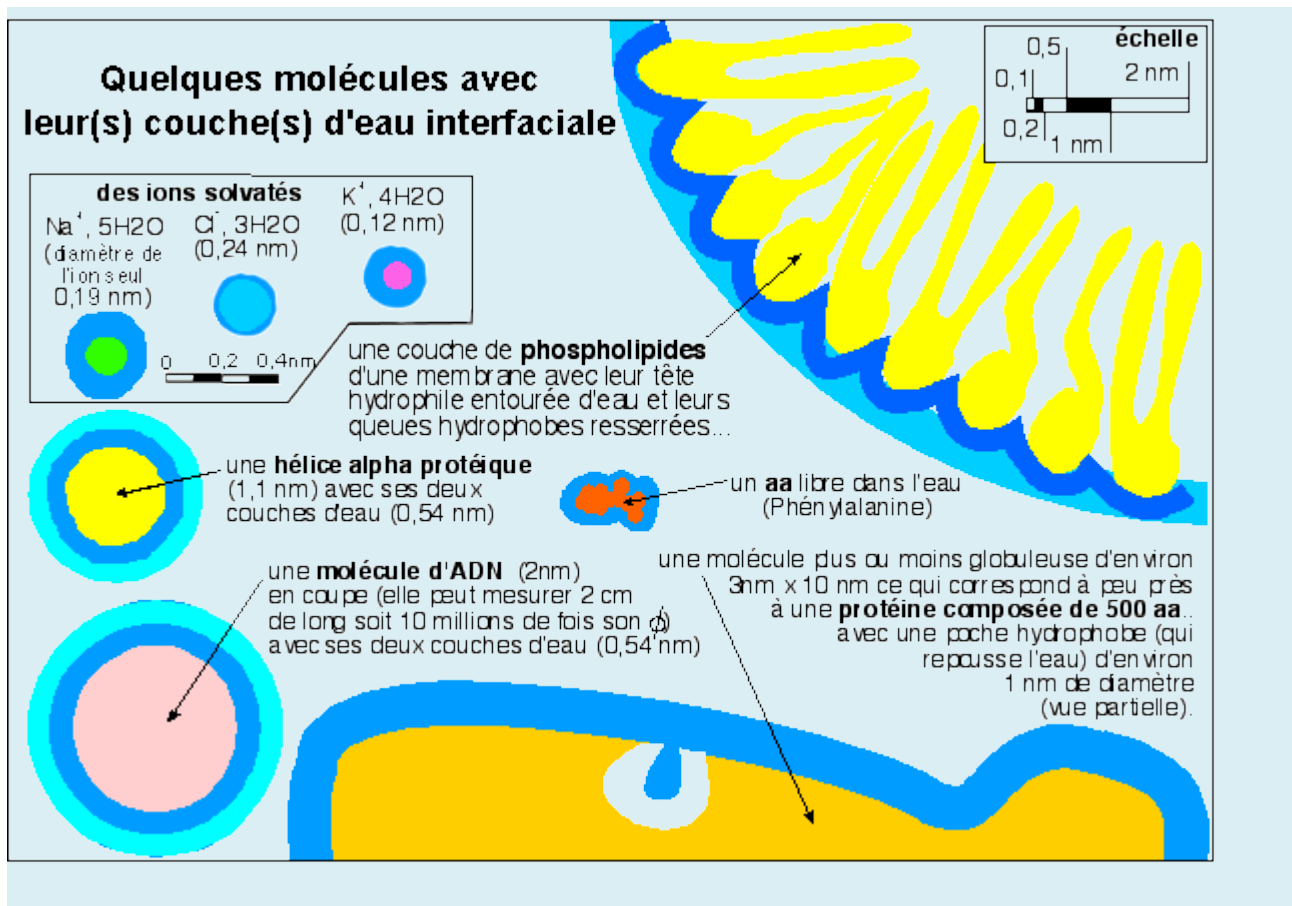
10 nm de diamètre  
(1/100  $\mu\text{m}$ )

Le volume d'eau liée dans le premier cas est de l'ordre de  $0,2 \mu\text{m}^3$  (en fait 0,25% du volume total) alors que dans le second cas, il atteint  $14 \mu\text{m}^3$  (soit 20% du volume total).

Pour des ions hydratés les calculs sur le volume sont inefficaces mais on peut raisonner sur le nombre d'ions et de molécules. L'eau représente bien plus de 50% du volume. Un ion  $\text{K}^+$  est solvaté en moyenne par 4 molécules d'eau. Le rayon ionique (voir plus bas) est de l'ordre de  $0,121 \text{ nm}$  ce qui ferait plus de 7.000 milliards d'ions dans un volume de  $70 \mu\text{m}^3$ . Ce qui correspondrait à un nombre 4 fois plus élevé de molécules d'eau associées. En masse on a 35% de  $\text{K}^+$  pour 65% d'eau.

Cette analogie géométrique peut aider à comprendre comment une cellule contiendrait 80% de son eau sous forme d'eau interfaciale (liée) constituant un microfilm de  $1,1 \text{ nm}$  d'épaisseur autour des macromolécules cellulaires.

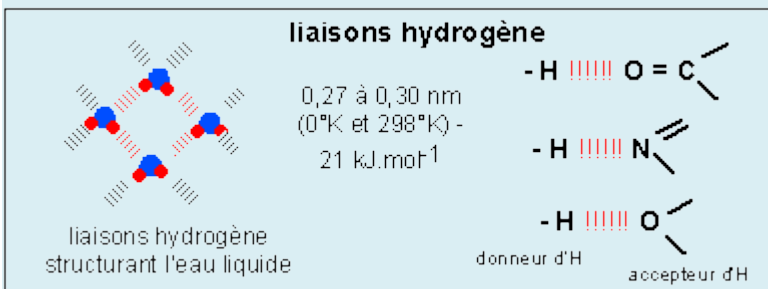
une couche d'eau liée de $1,1 \text{ nm}$ d'épaisseur	
volume d'eau liée d'environ $0,2 \mu\text{m}^3$ soit 0,25% du volume total	volume d'eau liée d'environ $14 \mu\text{m}^3$ soit 20% du volume total



Même si les spécialistes discutent pour savoir quel est le nombre habituel de couches d'eau liée autour des macromolécules, elles sont omniprésentes. Une molécule est toujours entourée d'eau plus ou moins fortement attachée à elle. Cette eau est ordonnée selon les interactions qu'elle développe avec la molécule à laquelle elle se lie: on parle ainsi d'eau liée ou d'eau structurée. Par rapport à la figure 1, cette figure correspondrait à un grossissement environ dix fois plus fort le grossissement le plus fort de la figure 1 soit environ 5.000.000 de fois; ce qui n'est bien sûr pas accessible à une quelconque technique microscopique sur des molécules en place dans un cytoplasme, et encore moins sur de la matière vivante. Nous devons donc nous contenter d'interprétations, réalisées par des méthodes indirectes, et non d'observations.

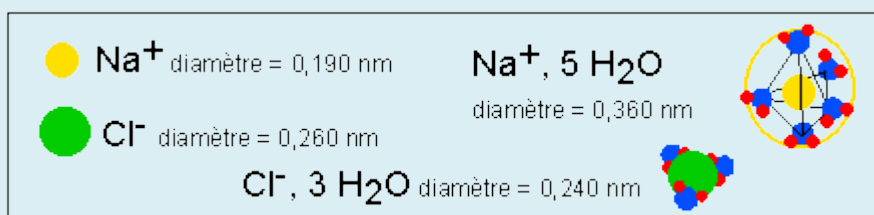
Quelques formes de l'eau structurée interfaciale:

- les molécules d'eau établissent des liaisons hydrogène entre elles (structure *ice-like*) qui sont fortement favorisées dans les poches hydrophobes et au voisinage des **domaines apolaires** des molécules;
- les molécules d'eau (polarisées) sont fortement attirées par les **domaines ionisés** des molécules et forment une *eau électrostrictée* dont la densité peut atteindre 1,2. Les molécules d'eau électrostrictée s'échangent sans cesse avec l'eau *bulk*;
- les molécules d'eau sont fortement immobilisées par des liaisons hydrogène (de structure variées) au niveau des **domaines polaires**.



Les liaisons hydrogène sont responsables de nombre de propriétés originales de l'eau liquide et solide (voir [page sur l'eau](#)).

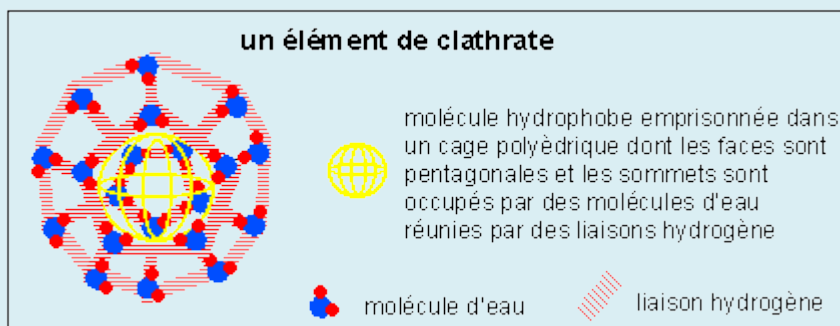
La petite taille du proton est à l'origine de l'intensité de la liaison hydrogène car un champ électrostatique engendré par une particule de charge  $q$  varie en  $q/d^2$ , si  $d$  est la distance au centre de la particule. Le proton forme un pont entre un atome donneur auquel il est lié de façon covalente (O) et un atome accepteur qu'il attire électriquement (O ou N, mais aussi C ou encore un nuage d'électrons  $\rho$  d'un cycle aromatique...). L'habituelle linéarité de la liaison hydrogène observée entre molécules d'eau dans la glace, n'est pas conservée dans toutes les liaisons hydrogène qui peuvent aussi présenter des énergies variables en fonction de leur longueur (8 kJ.mol<sup>-1</sup> pour les plus courtes liaisons à 42 kJ.mol<sup>-1</sup> pour les liaisons les plus longues). L'établissement d'une liaison hydrogène modifiant les caractéristiques du donneur et de l'accepteur, on observe un phénomène de coopérativité qui facilite l'établissement de liaisons en chaîne. Ces chaînes de molécules d'eau liée expliqueraient nombre de fonctions de l'eau interfaciale.



La **solvatation** résulte de l'établissement de liaisons électrostatiques entre les molécules d'eau et les

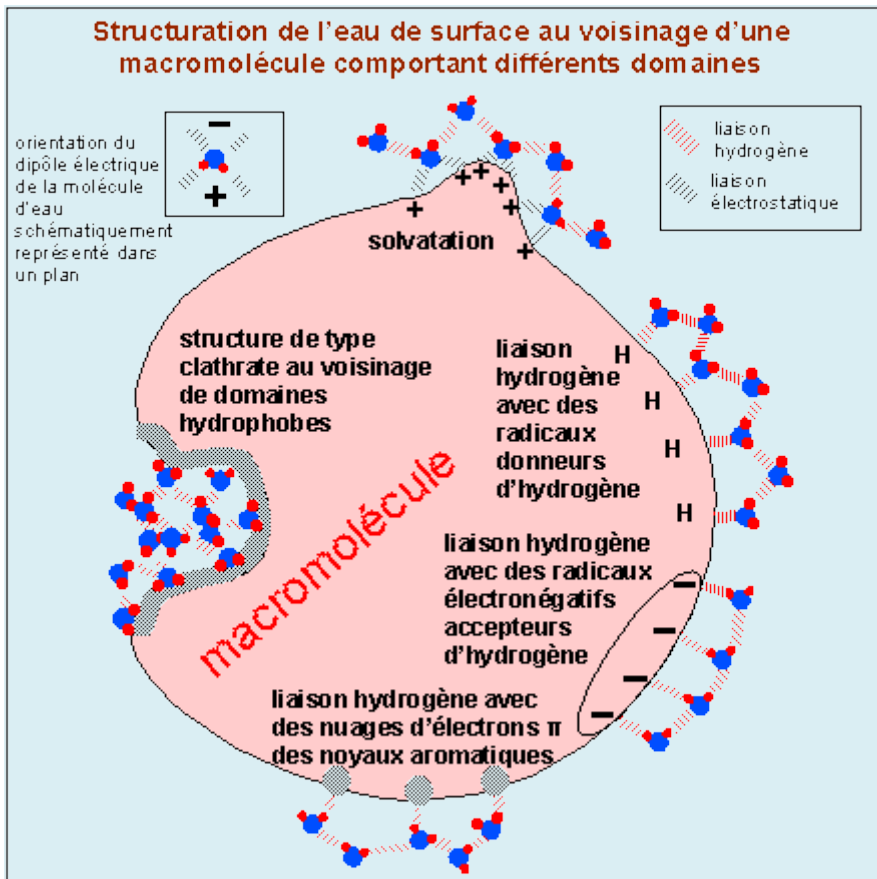
ions et de liaisons hydrogène entre les molécules d'eau de cette "couche" dite de solvation. Le nombre moyen de molécules d'eau de la couche de solvation dépend de la charge de l'ion et de son rayon atomique: plus l'ion est chargé plus il attire les molécules d'eau; et à charge égale, plus un ion a un rayon ionique important, moins il attire de molécules d'eau. Pour un ion de grande taille de charge négative comme le chlore, cette charge est répartie sur toute la surface de l'ion ( $1/S=1/R^2$ ) est donc plus faible que pour un ion de petite taille comme de sodium. Ainsi l'ion chlorure est solvato par environ 3 molécules d'eau pour un rayon de solvation inférieur au rayon de l'ion dans un solide ionique (NaCl) alors que l'ion sodium est solvato par environ 5 molécules d'eau et son rayon ionique est presque deux fois plus faible que lorsqu'il est solvato. Un autre exemple est le lithium (ion Li+) qui est solvato par environ 6 molécules d'eau ce qui fait passer son rayon ionique de 0,060 nm à 0,236 nm (soit près de 4 fois plus) lorsqu'il est solvato. L'ion potassium (K+), volumineux, et ne portant qu'une seule charge positive, n'est solvato que par 4 molécules d'eau en moyenne, et passe d'un rayon ionique de 0,133 nm à 0,121 nm lorsqu'il est hydrato.

Dans un champ électrique, EN SOLUTION, les ions les plus petits et les plus solvato migrent le plus lentement.



Les **clathrates** sont des structures polyédriques à faces pentagonales qui contiennent des molécules d'eau réunies par des liaisons hydrogène et des molécules hydrophobes (on connaissait les clathrates en géologie où c'est une forme d'association de l'eau avec les hydrocarbures, et en astrophysique où ces structures ont été utilisées pour expliquer certaines caractéristiques spectroscopiques des rayonnements de certains corps célestes) . Les clathrates sont très stables, cristallisables, et peuvent contenir jusqu'à 90% d'eau.

On pense que des structures de type clathrates, imparfaites, seraient extrêmement fréquentes pour les molécules biologiques hydrophobes et même au voisinage des domaines hydrophobes de macromolécules.



Les 3 types principaux de structuration de l'eau au voisinage d'une macromolécule: **eau de solvation** (remarquez la seconde couche d'eau liée à la première par des liaisons hydrogène: la première couche est appelée eau liée (sous-entendu à la macromolécule), la seconde, eau structurée), **eau liée par des liaisons hydrogène à des domaines** polaires ou à des nuages d'électrons  $\pi$  (là aussi une seconde couche d'eau stabilise la première couche), **eau liée par des liaisons hydrogène en structures de type clathrate** au voisinage de domaines hydrophobes (d'après Mentré, 1995, Fig 12.2 principalement).

- L'eau cellulaire est très **hétérogène**:

- \* elle est polarisée (anisotrope),
- \* elle présente des variations importantes dans son architecture, son degré de coopérativité et sa densité,
- \* elle possède un pouvoir solvant réduit,
- \* elle possède une activité osmotique réduite.

- L'eau cellulaire n'est pas immobile mais **percole** la cellule.

Toutes les liaisons évoquées ci-dessus sont des liaisons dynamiques dont le turn-over est rapide. Une molécule d'eau engagée dans une liaison électrostatique avec un domaine ionisé d'une molécule reste moins longtemps dans cet état que dans l'eau bulk qu'elle rejoint au bout de quelque temps. L'eau interfaciale peut aussi se déplacer avec les structures cellulaires qu'elle enrobe, et ce, avec des vitesses bien supérieures à celle de la diffusion dans une eau bulk. On peut considérer que les molécules de toute petite taille sont capables de percoler avec l'eau interfaciale. La plupart des macromolécules, qui sont d'ailleurs souvent associées en complexes moléculaires, sont transportées.

Il n'en reste pas moins que ce que l'on nomme l'autodiffusion de l'eau dans la cellule reste un phénomène à explorer ( ce qui a déjà été commencé mais sort du cadre de cette synthèse



partielle - voir Mentré, 2002, p 103-104 et références) à la lumière de cette nouvelle vision de la cellule vivante.

Le transport de l'eau par les vésicules de pinocytose reste aussi un mode de transport rapide et efficace.

- les **transports** de molécules, d'ions, de signaux se font **d'autant plus rapidement qu'ils sont associés à des structures de transport de grande taille**;

par exemple au sein d'un axone on estime la vitesse de diffusion de protéines isolées (de diamètre de l'ordre de quelques nm) inférieure à  $0,01 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , alors que avec des protéines transporteuses (de diamètre de l'ordre d'une dizaine de nm) on atteint des vitesses de l'ordre de  $0,05 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et enfin, avec des vésicules (de l'ordre de  $100 \mu\text{m}$  de diamètre) on atteint des vitesses de l'ordre de  $0,5 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pour chaque ordre de grandeur de taille on gagne un ordre de grandeur en vitesse (*in* Mentré, 2002, p 91).

- les réactions chimiques du **métabolisme** se font dans des structures complexes, sans eau libre, ce qui explique des **rendements proches de 100%**;

la faiblesse des rendements en solution aqueuse peut être due au peu d'accessibilité des substrats; l'excellent rendement pour des enzymes associées en complexe est dû à la diminution du temps de transit d'une enzyme à l'autre; on désigne ce mécanisme d'association par le terme de **canalisation** (*chanelling*) ou d'une façon plus générale de **compartimentation métabolique** qui exprime l'idée d'association des enzymes impliquées dans une même chaîne métabolique .

La compartimentation métabolique est donc une notion qu'il faut étendre à la totalité de la cellule, en relativisant la notion de membrane et des canaux ou transporteurs qui lui étaient associés. Un compartiment métabolique peut très bien se répartir à la fois dans un organite, le long d'une membrane et à l'extérieur de celle-ci.

L'eau structurée pourrait servir de réseau de coordination des signaux intracellulaires au sein de laquelle les transports seraient nettement plus rapide que dans une eau libre; des résultats assez convaincants ont déjà été obtenus avec des mouvements de protons qui transmettent des signaux extérieurs en signaux intracellulaires.

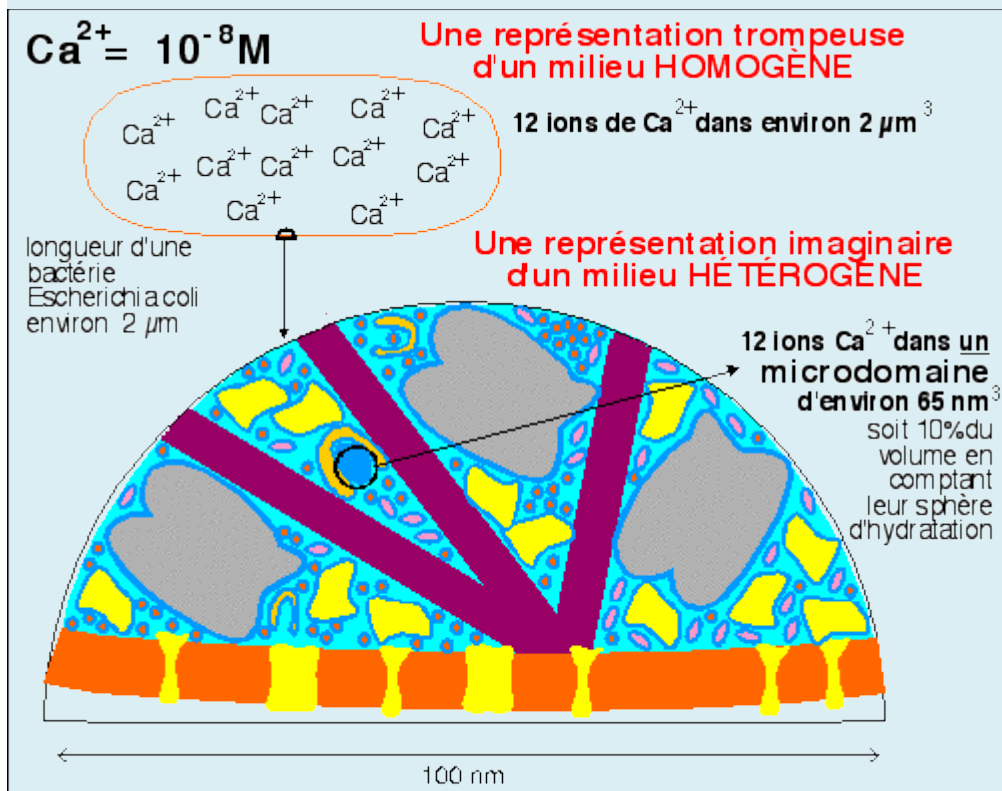
- les **concentrations in vivo sont trop faibles** pour obéir aux lois de la chimie des solutions: la notion de gradient de concentration perd tout sens dans une cellule:

on estime qu'une bactérie comme *Escherichia coli* ne contient qu'une centaine de protons qui sont éloignés les uns des autres de plusieurs centaines de nm et donc ne peuvent être responsables d'un gradient de concentration. De même pour les ions calcium que l'on estime à une concentration cellulaire de  $10^{-3}\text{M}$  dont  $10^{-8}\text{M}$  à  $10^{-6}$  libres (non complexé par des macromolécules comme la calmoduline...) mais solvaté (entouré par des molécules d'eau).

Dans une bactérie comme *Escherichia coli* que l'on peut estimer parallépipédique (de volume  $V=2.1.1 \mu\text{m}^3 = 2.10^{-15} \text{L}$ ), une concentration de  $10^{-6}\text{M}$  correspond à un nombre de molécules de calcium  $n = N$  (nombre d'Avogadro).  $10^{-6} \cdot V$  soit  $n = 6.10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot 2.10^{-15}$  molécules = 1200 molécules. De la même façon, une concentration de  $10^{-8}\text{M}$  correspond à un nombre de molécules de calcium  $n = N$  (nombre d'Avogadro)  $\times 10^{-8} \cdot V$  molécules soit  $n = 6.10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot 2.10^{-15}$  molécules = 12 molécules. En supposant chaque molécule au centre d'un cube de côté "a", la distance entre deux molécules est très approximativement égale à "a" soit RACINE CUBIQUE [(V/n)]. On trouve **0,1  $\mu\text{m}$**  pour la concentration de  **$10^{-6}\text{M}$**  et

**0,6  $\mu\text{m}$**  pour la concentration de  **$10^{-8}\text{M}$** . Pour une cellule supposée sphérique, on a les mêmes ordres de grandeur.

Comment imaginer qu'une dizaine d'ions ou même quelques milliers d'ions, séparés par de très nombreuses macromolécules puissent déterminer un gradient de concentration à de telles distances ! Quand aux compartiments membranaires habituellement invoqués pour présenter une concentration homogène, leur taille étant de l'ordre de la centaine de nanomètre (épaisseur d'une citerne golgienne ou du réticulum endoplasmique) au micromètre (mitochondrie), ils ne peuvent non plus contenir plus de quelques unités à dizaines d'unités de ces ions, bien incapables donc de déterminer un gradient de concentration. Cette remarque d'une part remet en cause probablement la mesure des concentrations aussi faibles que celles présentées et d'autre part oblige à considérer que les molécules sont avant tout liées à d'autres molécules dans la cellule et que l'eau ne joue que très rarement, le rôle de solvant.



Les concentrations extrêmement faibles estimées pour le vivant conduisent à des interprétations trompeuses si l'on pense que le compartiment cellulaire bactérien, par exemple, est un milieu homogène où la chimie des solutions en milieu aqueux pourrait s'appliquer. Ainsi une concentration en calcium d'une nanomole correspond à environ 12 ions calcium dans le cytoplasme. Avec des chiffres aussi petits il est indispensable d'envisager une chimie des milieux hétérogènes pour le cytoplasme dont une représentation très imagée est proposée. On reconnaîtra la membrane plasmique (en orange) avec des protéines membranaires (en jaune), des ribosomes (en gris) et des éléments du cytosquelette (en violet). Le calcium libre est très probablement séquestré dans des microdomaines très localisés (en bleu foncé) dans lesquels on peut peut-être utiliser une chimie statistique avec par exemple la loi d'action de masses, mais il est incohérent de l'appliquer à l'ensemble du compartiment cellulaire.

- les propriétés physiques du cytoplasme, sont **hétérogènes** et très variables selon les types cellulaires, ce qui peut notamment être expliqué par les différentes formes de l'eau au sein de

ce cytoplasme:

le hyaloplasme ne formerait pas une entité homogène au comportement physique identique sauf dans quelques cellules très spécialisées comme les hématies dont la compartimentation est réduite à un quasi-unique compartiment, monofonctionnel. L'immense vacuole des cellules végétales peut aussi constituer un bon exemple de compartiment d'une telle homogénéité. La pression osmotique par exemple est un facteur que l'on ne peut probablement étendre à l'ensemble du compartiment cellulaire que dans ces cas exceptionnels. Il est bien plus probable que la quasi-totalité des cellules présentent plutôt une organisation en **microdomaines** où la pression osmotique est un facteur qui dépend des conditions locales principalement.

Une des théories les plus séduisantes sur l'organisation de l'eau cellulaire est la **théorie de Watterson** (1982,1991); la tension existant dans un volume d'eau est reliée par l'auteur aux mouvements vibratoires des molécules qui seraient dus aux phénomènes de coopérativité (résonance) observés entre les molécules d'eau reliées par des liaisons hydrogène. Il a ainsi mesuré que le cytoplasme serait organisé en domaines (**clusters**) d'environ 40 nm<sup>3</sup> dont le diamètre correspond à la longueur d'onde vibrationnelle, voisine de 3,4 nm, les nœuds étant situés aux points où la tension est la plus faible. Chaque cluster contiendrait environ 1300 à 1400 molécules d'eau (pour un poids moléculaire de 24kDa). Un point essentiel d'application de cette théorie est que la plupart des protéines intracellulaires ont des dimensions qui correspondent précisément à un cluster: 40 nm<sup>3</sup> pour un nombre de résidus compris entre 120 et 300 et un diamètre moyen de 3,5 nm. Ces clusters ne seraient pas des structures rigides mais dynamiques, très sensibles aux éléments introduits; les protéines polymériques par exemple, d'une taille supérieure à un cluster, modifiant la résonance de l'ensemble. Watterson propose de relier la stabilité de la matrice hyaloplasmique à l'harmonie vibratoire des domaines d'eau et de macromolécules entourées d'eau. La cohérence résultant alors non pas de forces de liaison mais de mouvements vibratoires résonnants, sensibles aux perturbations (et permettant ainsi de transférer extrêmement rapidement un signal (modification de la longueur d'onde...) d'un point à un autre) mais résistants grâce à leur souplesse.

- l'eau n'est donc plus seulement **constitutive** du vivant (matière vivante, milieu de vie) mais ses **rôles** se découvrent aussi **énergétiques** (mécaniques, chimiques...) et **relationnels**. On n'a encore que quelques rares éclairages sur ces nouveaux rôles de l'eau qui n'est plus essentiellement un solvant mais une interface (détails *in* Mentré, 2002, p 94-101). C'est un renversement complet de la compréhension de l'eau qui tient désormais un rôle actif:

- la première couche d'eau interfaciale (eau liée) semble jouer le rôle d'élément de contrôle principal, du fait notamment de sa forte coopérativité (elle est plus difficilement perturbable); la seconde couche étant surtout un réservoir. Mais les échanges entre ces deux couches (mécanisme appelé **micro-osmose**) sont eux-mêmes un élément essentiel du pouvoir régulateur de l'eau structurée en général.
- **l'eau interfaciale**, par ses liaisons multiples avec des domaines variés des complexes moléculaires **contrôle** leur assemblage-désassemblage et leur fonctionnement. L'eau impliquée dans les assemblages des complexes macromoléculaires, par exemple avec les liaisons hydrogène établies avec les domaines polaires, interviendrait aussi pour **orienter** ces assemblages et participerait à la dynamique de leur assemblage-désassemblage. De la même manière, l'eau interfaciale semble intervenir directement dans le **contrôle de l'activité** de molécules fonctionnelles comme par exemple les enzymes. Récemment on a attribué la transition allostérique (avec changement de

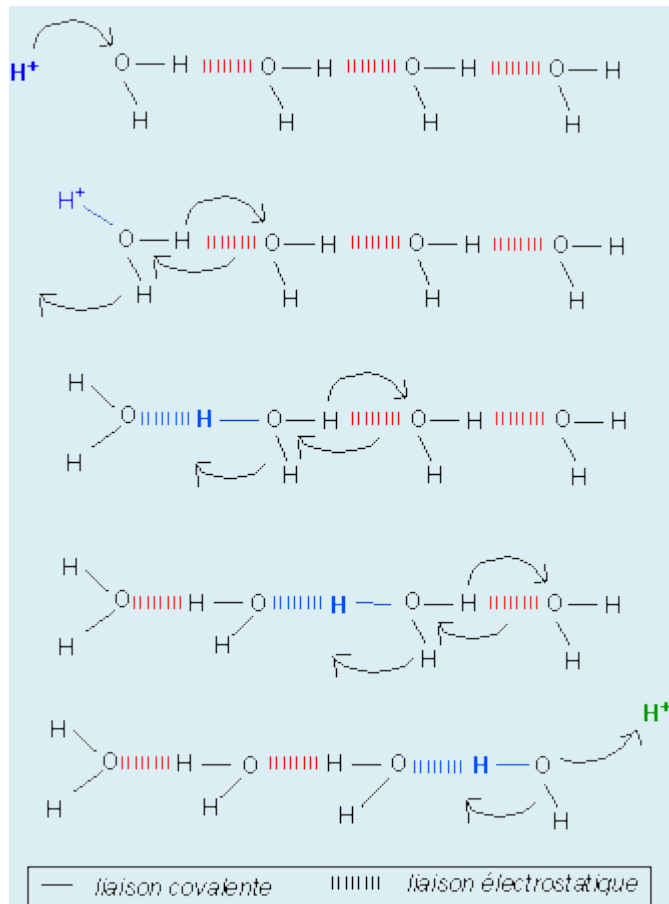
conformation et coopération entre les 4 sous-unités protéiques) entre la molécule d'hémoglobine désoxygénée (Hb) et la molécule oxygénée (HbO<sub>2</sub>) à la liaison de 60 molécules d'eau à la molécule d'Hb, cette eau provenant essentiellement de domaines *ice-like* de l'eau interfaciale associés à des domaines hydrophobes de la molécule d'Hb. L'eau est directement impliqué dans de nombreux autres processus que l'on découvre petit à petit: réactions allostériques, dénaturation des protéines, assemblage des microtubules, dénaturation de l'ADN... , notamment à travers le processus de compensation enthalpie-entropie qui manifeste thermodynamiquement la structuration-déstructuration de l'eau (voir références *in* Mentré 2002, p 97).

On peut aussi citer les nombreuses enzymes activées spécifiquement par le potassium et non par le sodium. Le contrôle de l'activité de ces enzymes serait directement due à l'eau interfaciale. En effet, le site catalytique des enzymes est généralement hydrophile mais situé la plupart du temps au fond d'une poche hydrophobe. Quand le substrat se lie au site de l'enzyme le caractère hydrophobe de la poche s'accroît ce qui tend à structurer davantage l'eau (*ice-like*). Cette structure à la propriété d'exclure fortement le Na<sup>+</sup> mais non le K<sup>+</sup> (voir deux paragraphes plus loin, l'utilisation de la série de Hofmeister). Les ions K<sup>+</sup> entrent alors dans la poche et déstructurent l'eau (état *vapor-like*) qui augmente de volume. Cette effet mécanique entraînerait l'ouverture de la poche et la libération du produit de la réaction enzymatique (*in* Mentré, 2002, p 96, §3.2.2).

- **l'eau interfaciale**, comme son nom l'indique, **contrôle**, par sa position, les **mécanismes informationnels supposant une reconnaissance moléculaire (topologique)**.

Un exemple démonstratif est ce l'on nomme l'*effet star*: le pourcentage de coupures non canoniques (erronées) réalisées par une enzyme de restriction (EcoR1, dont la séquence canonique est AATT) augmente linéairement avec la pression osmotique. Les auteurs de cette expérience l'interprètent comme la nécessité de l'expulsion de l'eau interfaciale du domaine de liaison enzyme-ADN. Aux fortes pressions hydrostatiques l'eau interfaciale est stabilisée, la reconnaissance ne peut se faire et toute activité de coupure enzymatique est bloquée. On peut extraire une partie de l'eau d'hydratation en augmentant la pression osmotique, dans ce cas on favorise la reconnaissance et la liaison enzyme-ADN et donc la coupure de celui-ci, même pour des sites non canoniques.

- les **chaînes de molécules d'eau**, à la surface de macromolécules où reliant des molécules entre elles, présentent, comme dans la glace (mais avec une mobilité réduite cependant), une **conductivité protonique** efficace qui pourrait emprunter les circuits de conduction de l'eau interfaciale formant, selon l'expression de R. Peters un **réseau subtil coordinateur**.



## Conduction protonique

ou

"transfert" d'un proton le long d'une chaîne de molécules d'eau liées par des liaisons hydrogènes (*d'après P. Mentré, 1995 et 2000*)

Si le phénomène n'est guère contesté, ce modèle n'est cependant pas encore admis de façon unanime.

Dans ce modèle, il n'y a pas vraiment de déplacement du proton mais liaison covalente d'un proton en début de chaîne, transfert de liaisons covalente et électrostatique tout le long de la chaîne et libération d'un proton en fin de chaîne par rupture de liaison covalente. En terme de bilan il y a changement d'orientation de la chaîne de molécules d'eau à la suite du "transfert" d'un proton.

Cette conductivité est actuellement une piste majeure de recherche en biochimie, notamment dans l'**activité enzymatique** (les molécules d'eau de la surface des enzymes, réunies en chaînes conductrices de protons à partir d'un certain seuil d'hydratation, seraient responsables, même sans aucune déformation de la molécule enzymatique, des changements d'activité) ou dans le **couplage entre pompes et canaux** (le transfert de protons associé au fonctionnement d'enzymes hydrolysant l'ATP pourraient être à l'origine non pas d'un gradient d'H<sup>+</sup> mais de courants protoniques microlocalisés qui donneraient un autre sens à la théorie dite chimiosmotique...) ou encore dans le **transfert de signaux ioniques** (la transduction du signal calcium souvent présentée comme le résultat d'une cascade de réactions de phosphorylations-déphosphorylations le long d'une chaîne de kinases et de phosphatases, pourrait aussi résulter de l'enchaînement de proche en proche d'oscillations de molécules chélatrices entre un état où le calcium est masqué et un état où le calcium est libéré: la propagation du signal se faisant alors sans déplacement de calcium; des courants

protoniques entre chaînes de molécules d'eau interfaciales le long d'une chaîne de macromolécules, pourraient aussi intervenir; on connaît ainsi une "onde" protonique qui semble suivre l'onde calcium en décrivant des cercles concentriques autour du point de contact du spermatozoïde avec l'ovocyte d'amphibien lors de la fécondation).

- l'eau interfaciale, de par ses propriétés physiques, peut **contrôler la composition chimique** de la cellule: c'est par exemple l'exclusion sélective des ions.

L'eau interfaciale, polarisée, exclue d'autant plus fortement les ions qu'ils génèrent un champ électrique élevé (selon la série de Hofmeister). Donc à taille égale ce sont les plus chargés qui sont les plus exclus et à charge égale, ce sont les plus petits qui sont les plus exclus.

<p><b>poids atomique</b> croissant &gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;</p> <p>et / ou <b>charge électrique</b> décroissante &lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;&lt;</p> <p><b>diamètre</b> décroissant à l'état hydraté</p> <p>&lt;</p>
<p>Mg<sup>2+</sup> &lt; Ca<sup>2+</sup> &lt; Sr<sup>2+</sup> &lt; Ba<sup>2+</sup> &lt; Li<sup>+</sup> &lt; <b>Na<sup>+</sup></b> &lt; <b>K<sup>+</sup></b> &lt; Rb<sup>+</sup> &lt; Cs<sup>+</sup></p>
<p>citrate<sup>3-</sup> &lt; tartrate<sup>2-</sup> &lt; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> &lt; Cl<sup>-</sup> &lt; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> &lt; ClO<sub>3</sub><sup>-</sup> &lt; I<sup>-</sup> &lt; SCN<sup>-</sup></p>
<p><b>ions cosmotropes</b> (du grec <i>cosmos</i> = ordre - structurent l'eau; en anglais <i>kosmotropes</i>) de gros diamètre - solvatés - rendent l'eau interfaciale encore plus structurée <b>plus exclus</b> de la cellule</p>
<p><b>ions chaotropes</b> (du grec <i>chaos</i> = désordre - déstructurent l'eau; en anglais <i>chaotropes</i>) de petit diamètre - peu solvatés - solubles dans l'eau interfaciale qu'ils déstructurent <b>moins exclus</b> de la cellule</p>

- **Série de Hofmeister : cations et anions**

- Les ions **chaotropes**, à la différence des ions **cosmotropes** circulent facilement dans les couches d'eau qu'ils déstructurent. C'est une raison avancée pour expliquer que le potassium, contrairement au sodium n'est pas exclu de la cellule. Certains auteurs estiment que la plus forte concentration en potassium du hyaloplasme par rapport au sodium est une conséquence directe du pouvoir solvant sélectif de l'eau interfaciale et non le résultat d'une activité membranaire. On a même montré expérimentalement que des cellules, dont les membranes ont été perméabilisées par des détergents, et placées dans des milieux riches en sodium, calcium et magnésium, ne s'enrichissaient pas notablement en ces ions (alors que leur concentration ionique est faible pour ces ions). Par contre, ces cellules à membrane perméabilisée, placées dans un milieu riche en potassium (mais moins riche que la cellule), perdent rapidement leur potassium.
- les déplacements d'eau depuis la seconde couche d'hydratation vers la première couche d'eau liée (mécanisme de **micro-osmose**) s'accompagnent de **changements de densité**, donc de volume, et induisent alors des **effets mécaniques**.  
Le rôle de ces changements de densité dans les **moteurs moléculaires** a fait l'objet de nombreuses recherches. On a notamment proposé (voir références d'Oplatka, in Mentré, 2002 p 100-101) l'existence de minijets d'eau à l'interface des molécules d'actine et de myosine associées dans les myofilaments des cellules musculaires. Le glissement relatif entre les myofilaments serait dû à la force mécanique de l'eau déstructurée projetée

sous forme de minijets, ce qui a fait comparer le mécanisme de la contraction musculaire ainsi revisité à un moteur alternatif à vapeur.

Le flagelle bactérien en rotation rapide (40 à 60 tours par seconde) et l'ATPsynthase, fonctionneraient de même comme des turbines à eau. Des minijets seraient dirigés sur des minirotors et les feraient tourner.

Les effets mécaniques des changements de densité de l'eau structurée pourraient aussi rendre compte de la **transduction de signaux** notamment depuis la membrane jusqu'aux structures internes de la cellule par le biais du cytosquelette. Une déformation de la membrane cellulaire peut modifier par contrainte mécanique la structure de l'eau structurée au voisinage de cette membrane. Cette modification pourrait ensuite se transmettre, mécaniquement, de proche en proche, au sein de l'eau d'hydratation des éléments du cytosquelette que l'on sait se polymériser/dépolymériser à grande vitesse. On a ainsi mis récemment en évidence que 10 à 12 molécules d'eau s'associent à la molécule d'actine au cours de son étape de polymérisation.

Remarque personnelle 1:

Cette **sensibilité** de l'eau structurée située dans le cytoplasme cortical de la cellule à des stimuli mécaniques, et surtout sa capacité à **transmettre** ce signal mécanique le long du cytosquelette puis finalement à réaliser la **transduction** du signal mécanique en un signal chimique par le biais de la micro-osmose (un changement de pression et donc de densité de l'eau interfaciale peut induire la stabilisation d'éléments chimiques cosmotropes ou l'exclusion d'éléments chaotropes... voir paragraphe ci-dessus), pourrait rendre compte de la sensibilité de nombreuses cellules nerveuses, plus ou moins modifiées, à la pression (que l'on nomme *barorécepteurs*).

Remarque personnelle 2:

Cette approche des systèmes protéiques motiles à base d'actine dont le mécanisme de contraction serait intimement lié aux propriétés mécaniques de l'eau structurée semble être une piste prometteuse de recherche. L'actine est l'élément motile essentiel du cytoplasme cortical qui est le siège de la cytokinèse (division du cytoplasme) pour toute cellule eucaryote (voir ci-dessous). Le rôle du cytosquelette cortical n'est pas non plus à négliger dans la contraction musculaire d'une fibre striée (les microphotographies avec coloration des filaments d'actine montrent un réseau extrêmement riche dans ces cellules, en plus de myofilaments classiquement présentés. C'est encore l'actine qui peut être à l'origine de la sensibilité à la pression d'une villosité, si on invoque ce mécanisme de couplage avec l'eau structurée.

- paradoxalement, l'**eau de la cellule vivante** surpeuplée de macromolécules **devient rare**, utilisée de façon **compétitive** par les macromolécules, son accessibilité contrôlant les activités des biomolécules.

Un excès d'eau impliquerait un désordre par manque de structuration. Un (léger) déficit d'eau entretient la possibilité d'un contrôle par facteur limitant. Pour étudier cette hypothèse P. Mentré et G. Hui Bon Hoa ont étudié des biomolécules sous haute pression hydrostatique (HPH), facteur connu pour favoriser une forte hydratation de ces molécules et donc une configuration qui maximise l'eau interfaciale, plus dense (d'après la loi de Le Chatelier). Les résultats obtenus sur des cellules eucaryotes - qui semblent pouvoir supporter sans problème des pressions atteignant 1000 à 1200 bars (soit 100 à 120 MPa) pendant une dizaine de minutes - sont époustouffants : cytosquelette, complexes antigène-anticorps, ADN-facteurs, etc., se dissocient sous des HP de quelques dizaines de MPa et cet effet est réversible. Le contrôle des assemblages biomoléculaires par l'eau est en voie d'exploration.

**2ème barrière entrouverte: l'unité fonctionnelle cellulaire ne vient pas d'une chimie**

**du hasard (les lois probabilistes des milieux homogènes) mais d'une biochimie qui pourrait être fondée sur la finalité : la vie cellulaire est un travail orienté vers une fin biologique.**

Ces éléments sont inspirés du chapitre 12 (*L'eau, une interface hétérogène et dynamique des macromolécules*) du livre de P. Mentré (*L'eau dans la cellule*, Pascale Mentré, 1995, Masson) mais la formulation et le développement des idées déforment peut-être la pensée de cet auteur auquel je renvoie.

La vision de la cellule vivante, abordée à partir de la question de l'eau, telle qu'elle est présentée ci-dessus, peut déboucher sur une autre compréhension du métabolisme cellulaire que l'on pourrait qualifier de **finaliste** - au sens de téléologique (voir au sujet de ces termes la discussion dans le [cours de terminale](#)) - par opposition à la vision **statistique** de la biochimie classique.

### Vivre = une chimie ou un travail ?

Vu de très loin, avec une résolution inférieure à la distance entre les éléments d'un système macromoléculaire (que l'on pourrait chiffrer à quelques dizaines ou centaines de nanomètres) le cytosol est **homogène chimiquement**.

Mais si l'on s'approche des éléments moléculaires (à une distance inférieure à la dizaine de nanomètres) l'**hétérogénéité** saute aux yeux et il semble nécessaire de changer de modèle.

Prenons l'exemple d'un système métabolique (ou chaîne métabolique) théorique où un substrat est transformé en un produit. Approchons-nous du système au-delà de la résolution du microscope et intéressons-nous aux molécules qui le composent: en voici deux représentations:

modèle "soupe*"	modèle "machinerie haute technologie*"
chaîne métabolique <b>statistique</b>	chaîne métabolique <b>finaliste</b>

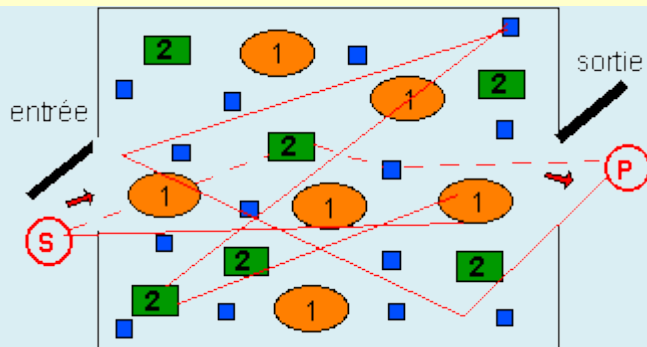
\* termes empruntés à P. Mentré: Organization and properties of water in cell system, in Integrated Plant Systems, H. Greppin et al., eds., 2000, University of Geneva, pp 3-22

substrat	système métabolique	----> produit	substrat	système métabolique	----> produit
---->	<b>statistiquement homogène</b> compris comme		----->	<b>hétérogène</b> composé de:	
	- un ensemble statistiquement déterminé de molécules en solution aqueuse (non dénombrables) dont le comportement dépend des:			- <b>molécules dénombrables</b> (tant de molécules de telle enzyme, tant de molécules de telle autre enzyme) et donc considérées comme des <b>molécules individuelles</b> , à un emplacement donné (environnement particulier), avec une fonction donnée et des <b>paramètres individuels</b> (qui peuvent varier selon les molécules)	
	- <b>concentrations</b> (et donc d'une répartition supposée statistiquement homogène) des espèces en solution et de			- ayant un <b>mobile commun</b> déterminé par <b>UN SEUL CHEMIN</b> possible (ou quelques-	
	- <b>réactions à l'équilibre</b> (et donc une vitesse moyenne (statistique) de réaction dépendant des paramètres				

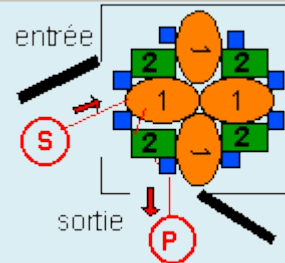


physiques et des concentrations...).

uns) pour aller du point d'entrée au point de sortie ("mobile" au sens étymologique (mécanique) de *rouage* pris ici selon son sens analogique dérivé de *fin*).



Un système contenant **un très grand nombre de molécules** (le nombre d'exemplaires de chacune des trois espèces moléculaires est bien inférieur sur ce schéma simpliste à ce qu'il devrait être pour que le modèle statistique soit valide étant donné qu'il nécessite la diffusion aléatoire des molécules entre les éléments du système). Les molécules appartiennent à 3 espèces chimiques (1,2 et 3 (en bleu)) en solution (homogène). Un substrat S donne par réaction métabolique un produit P. Deux chemins sont représentés qui passe successivement par les 3 espèces moléculaires: le chemin le plus court (en pointillés) et un des chemins les plus longs.



Trois espèces chimiques (1, 2 et 3 (en bleu)) groupées en **un système hétérogène** à 4+4+8 éléments. Le substrat S est métabolisé en un produit P.

Remarque:

il faut bien noter ce que cette présentation a de nouveau, ce qui n'est peut-être pas si clair en regardant ce schéma simpliste. En effet, les complexes métaboliques sont connus depuis fort longtemps mais on s'était contenté, à ma connaissance, de signaler qu'ils augmentaient les vitesses et les rendements des réactions métaboliques. Dans une vision **individualiste et finaliste** le chemin métabolique est une conséquence structurale et fonctionnelle de ces assemblages que l'on peut décrire non plus en terme d'ordre mais de fin (but): tel système pour telle fonction. Cette démarche était déjà employée pour des assemblages moléculaires comme un ribosome ou une molécule d'hémoglobine (HbO<sub>8</sub>), notamment lorsque l'on parlait d'autonomie ou d'autoassemblage en renvoyant implicitement à un moteur chimique; il s'agit ici de l'étendre à TOUTES les structures du vivant.

La **finalité** peut rebuter quelques-uns des lecteurs qui peuvent par exemple préférer parler tout simplement de **fonction**. Le terme de **fonction** a probablement une origine biologique et sociologique (cette idée n'a été soutenue que tardivement par René Thom; voir **Analyse sémantique d'un mot polysémique: la fonction**, 1993, Séminaires de la Société de Biologie Théorique, année 1992-1993, Acta Biotheoretica, 42 ), puis qui a été formalisée en mathématique (dans le plan, la fonction (numérique) d'une variable (x) est représentée par un graphe  $y=f(x)$ ; en mathématique la représentation d'une relation de quantité (avec des variables numériques) ou de qualité entre deux ensembles d'objets est défini par le terme moderne d'**application** (Fréchet, 1909)) , et enfin est retournée dans le domaine social et dans celui de la biologie. Voir aussi l'[extrait de Paraboles et catastrophes](#) de René Thom dans le cours de 1èreS. Mais pour un système vivant on ne peut pas parler de fonction, au sens strictement biologique, au niveau local (fonction alcool ou déshydrogénase...). Il est préférable de garder le terme de fonction pour des phénomènes physiologiques globaux comme

l'homéostasie par exemple (voir [cours de 1èresS](#)).

En août 2005, à l'aide du travail de René Thom, il m'apparaît clairement que la différence fondamentale entre ces deux modèles repose sur le contraste entre un ensemble **discret** de molécules (dont on cherche à comprendre les interactions par le biais d'une analyse statistique) et une fonction biologique **continue** (qui ne peut donc être issue des éléments discrets et dont l'origine doit se trouver ailleurs). Pour des détails voir une [page en travaux sur le continu en SVT](#).

à suivre... Source : <http://pst.chez-alice.fr/cellule.htm>

**Structure et dynamique de l'eau interfaciale. Rôle de l'eau d'hydratation dans la dynamique des protéines globulaires = Structure and dynamics of interfacial water. Role of hydration water on globular proteins dynamics**

*Auteur(s) / Author(s)*

[Zanotti Jean-Marc](#) ; [Bellisent Funel Marie-Claire](#) (Directeur de thèse) ; Université de Paris 11, Orsay, FRANCE (Université de soutenance)

**Résumé / Abstract**

Ce travail de thèse concerne la compréhension des processus d'hydratation en Biologie. En particulier, nous avons étudié par diffusion incohérente quasi-élastique et inélastique de neutrons, la dynamique à temps court, de l'ordre de 40 picosecondes, de l'eau au voisinage d'une protéine globulaire soluble, la C-phycoyanine deutériée à 99%. Les études ont été réalisées en fonction du degré d'hydratation de la poudre et au delà de la monocouche d'eau, hydratation à partir de laquelle la protéine commence à remplir sa fonction.

Afin de séparer les effets hydrophiles des effets hydrophobes, nous avons débuté notre étude par celle de l'eau interfaciale au voisinage de deux systèmes modèles: le Vycor, un verre poreux de silice représentatif d'une interface hydrophile et la poudre de carbone amorphe, caractérisée par une surface hydrophobe. Des expériences de diffraction de neutrons sur ces deux systèmes ont montré que l'eau interfaciale avait, à température ambiante, une structure proche de celle de l'eau surfondue à basse température. Ceci est cohérent avec les résultats que nous avons obtenus par diffusion quasi-élastique de neutrons, qui ont montré que l'eau interfaciale avait une dynamique proche de celle de l'eau surfondue, donc considérablement ralentie par rapport à celle de l'eau volumique. Des résultats similaires sont observés pour la C-phycoyanine.

Cela nous a conduit à proposer le mécanisme suivant pour la diffusion à temps court et à courte distance des molécules d'eau au voisinage d'une protéine globulaire: à température ambiante, les molécules diffusent par sauts rotationnels sur des sites adjacents d'environ 4 angströms. Le temps de résidence sur un site est 10 fois plus long que ce qu'il est dans l'eau volumique à la même température.

Un premier pas vers la connaissance fine de la dynamique d'une protéine, induite par l'eau d'hydratation, a été possible par la mise en parallèle de résultats de diffusion quasi-élastique et inélastique de neutrons et de résultats obtenus par RMN du solide du carbone 13 en abondance naturelle. Les informations issues de ces deux techniques ont permis de déterminer de façon

spécifique la nature des résidus qui sont affectés les premiers, lors de l'hydratation d'une protéine globulaire soluble, telle que la parvalbumine

**Source** Travaux Universitaires - Thèse nouveau doctorat 1997 [Note(s) : [250 p.]] (bibl.: 186 ref.) (Année de soutenance : 1997) (N° : 97 PA11 2063). Voir sur <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=181347>

## **Définitions et informations complémentaires :**

**Albert Szent-Györgyi** - Introduction d'un article de Wikipédia

**Albert Szent-Györgyi de Nagyrápolt** ([16 septembre 1893](#) à [Budapest](#) - [22 octobre 1986](#) à [Woods Hole](#) dans le [Massachusetts](#)) est un scientifique [hongrois](#). Il a reçu en [1937](#) le [prix Nobel de physiologie ou médecine](#) pour avoir entre autres découvert la [vitamine C](#) et les [flavonoïdes](#) et pour avoir exploré leurs propriétés [biochimiques](#)<sup>1</sup>.

À l'origine, il donna aux flavonoïdes le nom de « [vitamine P](#) » en raison de leur efficacité à réduire la [perméabilité](#) des [vaisseaux sanguins](#). Cette dénomination fut abandonnée lorsqu'on se rendit compte que ces substances ne correspondaient pas à la définition officielle des [vitamines](#), dans la mesure où on ne les considère pas comme étant essentielles à la vie.

### **Sommaire**

- [1 Vie en Hongrie](#)
- [2 L'immigrant aux États-Unis](#)
- [3 Notes et références](#)
- [4 Liens externes](#)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Szent-Gy%C3%B6rgyi](http://fr.wikipedia.org/wiki/Albert_Szent-Gy%C3%B6rgyi)

**Constante diélectrique** - Introduction d'un article de Wikipédia

La **constante diélectrique** ou *constante électrique*, également nommée *permittivité du vide* ou encore *permittivité diélectrique du vide* **[voir article à la suite]**, est une [constante physique](#). Elle est notée par  $\epsilon_0$ .

### **Définition**

La constante diélectrique se définit comme le rapport entre la permittivité  $\epsilon$  du [matériau](#) considéré et la permittivité du vide.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$$

où :

- $\mu_0$  est la [constante magnétique](#)
- $c$  est la [vitesse de la lumière](#) dans le vide.

Dans le système d'unité SI  $\epsilon_0$  a pour valeur:

$$\epsilon_0 = 8,854\ 187\ 817 \dots \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}.$$

Il ne s'agit pas à proprement parler d'une valeur approchée : les valeurs de  $\mu_0$  et  $c$  étant parfaitement déterminées, il est possible de connaître celle de  $\epsilon_0$  avec autant de chiffres significatifs que désiré.

La constante diélectrique décrit la réponse d'un milieu donné à un [champ électrique](#). Elle intervient dans de nombreux domaines, en particulier en [optique](#), via l'indice de [réfraction](#). Les lois gérant la réfraction et la réflexion de la [lumière](#) y font appel.

Au niveau microscopique, la constante diélectrique est liée à la polarisabilité électrique des molécules ou [atomes](#) constituant le milieu.

La constante diélectrique est une grandeur tensorielle (la réponse du matériau peut dépendre de l'orientation des axes cristallographiques du matériau), qui se réduit à un [scalaire](#) dans les milieux isotropes. Elle est très généralement *complexe*, la partie *imaginaire* étant liée au phénomène d'absorption ou d'émission du [champ électromagnétique](#) par le matériau.

La constante diélectrique est également notée  $k$  dans le domaine des circuits intégrés et des semi-conducteurs. Les [matériaux](#) dits *low-k* sont des diélectriques à faible permittivité. Ils sont utilisés comme isolants entre les interconnexions métalliques pour diminuer le couplage entre celles-ci.

### **Interprétation physique**

La permittivité d'un matériau est définie comme le rapport entre la norme du [champ de déplacement](#) électrique et celle du champ électrique appliqué au matériau. Pour des champs suffisamment grands, ce rapport n'est pas constant et tend vers  $\epsilon_0$ .

$\epsilon_0$  peut être vue comme la permittivité intrinsèque du vide.

Pour un matériau donné de permittivité  $\epsilon$ , il est possible de définir la permittivité relative,

$$\epsilon_R = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

normalisée par rapport à celle du vide. Cette valeur ne possède pas d'unité et est toujours supérieure à 1.

Source : <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1357>

## Cohérence

 Cette page d'[homonymie](#) répertorie les différents sujets et articles partageant un même nom.



Voir « [cohérence](#) » sur le [Wiktionnaire](#) . <http://fr.wiktionary.org/wiki/coh%C3%A9rence>

**Cohérence** *[/kɔ.e.vãs/](#) féminin*

1. [Union complète entre eux](#) des [divers éléments](#) d'un [corps](#).
2. Absence de contradiction entre des [données](#), des [idées](#) ou des [informations](#).
  - o *Les témoignages concordent, il y a une **cohérence** entre les dires du prévenu et ceux des témoins. Peut-être que nous nous sommes trompés.*

Le mot **cohérence** caractérise la liaison étroite des différents éléments constitutifs d'un ensemble. Toutes les parties de cet ensemble ont un rapport logique, comportant une absence de contradiction entre eux, et sont intimement unis. Ils présentent un rapport harmonieux entre eux, un rapport homogène et sont organisés dans une progression ordonnée. Il est employé dans plusieurs domaines

Source Wikipédia

### **Cohérence quantique** - Définition selon Simon Diner

La cohérence quantique désigne les conditions qui permettent la description d'un système microphysique par le jeu quantique de la superposition des états\*, au coeur de toute description quantique. Cette cohérence peut être rompue, décohérence, par l'intervention d'un phénomène perturbateur comme une mesure\* ou l'effet de l'environnement. C'est ainsi que dans les expériences mettant en jeu des interférences des états\*, la figure d'interférence disparaît si l'on introduit un appareil de mesure qui cherche à préciser les trajectoires.

*In* LEXIQUE DE PHILOSOPHIE NATURELLE\*

où science et philosophie s'observent d'une manière critique  
comme participants d'une même culture, par Simon Diner

[si.diner@wanadoo.fr](mailto:si.diner@wanadoo.fr) Source : <http://www.peiresc.org/DINER/Lexique.pdf>

### **Cohérence quantique** - Information Institut Néel

Notre activité principale de recherche concerne les phénomènes quantiques dans les nano-circuits électroniques. Nous étudions une large variété de circuits incluant les circuits quantiques supraconducteurs avec des jonctions Josephson, les circuits mésoscopiques à base de semiconducteurs, de métaux et plus récemment de graphène. Par des techniques de nanofabrication, des circuits originaux, utilisant un large spectre de matériaux, sont réalisés. Les propriétés quantiques des circuits sont étudiés grâce à une électronique très bas bruit mais aussi en effectuant les expériences à très basses températures, à très haute fréquence, et/ou

sous très fort champ magnétique.

Source : <http://neel.cnrs.fr/spip.php?rubrique50>

### **Cours de Physique de Claude Cohen-Tannoudji** – Voir dans la partie '**Cohérence quantique**'

Le professeur Claude Cohen-Tannoudji est titulaire de la Chaire de Physique Atomique et Moléculaire du Collège de France. Son enseignement porte sur l'interaction matière-lumière, et traite aussi bien des aspects théoriques les plus fondamentaux que des applications technologiques.

Voir la [page personnelle de Claude Cohen-Tannoudji](#)

La page suivante est une table des matières détaillée du cours, ainsi que les liens vers les pages correspondantes du polycopié (également disponible [ici](#)). Toutes les leçons sont énumérées dans une seule page, facilitant ainsi la recherche par mot clé. Nous espérons qu'elle sera utile.

#### **Partie 1 - Les processus fondamentaux (1973-1982)**

- Ondes multipolaires, lagrangien et hamiltonien du champ électromagnétique :
- Partie 1 : [Cours 1973-74](#)
- Partie 2 : [Cours 1974-75](#)
- Émission spontanée, relaxation et équation pilote : [Cours 1975-76](#)
- Interactions résonnantes ou quasi-résonnantes d'un atome ou d'une molécule avec une ou plusieurs ondes électromagnétiques intenses et monochromatiques : [Cours 1976-77](#)
- Mouvement brownien, réponses linéaires, équations de Mori et fonctions de corrélation : [Cours 1977-78](#)
- Les équations de Langevin-Mori pour des systèmes loin de l'équilibre : [Cours 1978-79](#)
- Émission et détection de rayonnement - approches semi-classiques et approches quantiques : [Cours 1979-80](#)
- Corrections radiatives stimulées et spontanées - description par hamiltonien effectif : [Cours 1980-81](#)
- Forces exercées par des photons sur des atomes : [Cours 1982-83](#)

#### **Partie 2 - Refroidissement et piégeage (1983-1993)**

- Refroidissement et piégeage d'atomes neutres par des faisceaux lasers : [Cours 1983-84](#)
- Piégeage et refroidissement d'un électron : [Cours 1984-85](#)
- Ions piégés, refroidissement radiatif et applications : [Cours 1985-86](#)

- Étude de diverses formulations équivalentes de l'électrodynamique quantique :
- Partie 1: [Cours 1986-87](#)
- Partie 2: [Cours 1987-88](#)
- Cohérences quantiques et dissipation :
- Partie 1: [Cours 1988-89](#)
- Partie 2: [Cours 1989-90](#)
- Refroidissement laser - nouveaux mécanismes et nouvelles limites :
- Partie 1: [Cours 1990-91](#)
- Partie 2: [Cours 1991-92](#)
- Interférométrie atomique :
- Partie 1: [Cours 1992-93](#)
- Partie 2: [Cours 1993-94](#)

### **Partie 3 - La condensation de Bose-Einstein (1994-2003)**

- Atomes ultrafroids :
- approches statistiques et perspectives nouvelles : [Cours 1995-96](#)
- piégeage non dissipatif et refroidissement évaporatif : [Cours 1996-97](#)
- Condensation de Bose-Einstein des gaz atomiques ultra froids :
- gaz sans interaction : [Cours 1997-98](#)
- effets des interactions (enregistrement audio) : [Cours 1998-99](#)
- propriétés de cohérence (enregistrement audio) : [Cours 1999-2000](#)
- Réponse d'un condensat à divers types d'excitations (enregistrement audio) : [Cours 2000-2001](#)
- Condensats de Bose-Einstein en rotation (enregistrement audio) : [Cours 2001-2002](#)
- Interactions Atomes-Photons : bilan et Perspectives; **Conclusion générale** (enregistrement audio) : [Cours 2003-2004](#)

Source <http://jdhosts.net/alain/coursCCT/index.html>

### ***De cohérence quantique à température ambiante en biologie !***

Par Laurent Sacco, Futura-Sciences : [http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/de-la-coherence-quantique-a-temperature-ambiante-en-biologie\\_22503/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/de-la-coherence-quantique-a-temperature-ambiante-en-biologie_22503/)

Certaines algues utiliseraient les amplitudes de probabilité de la mécanique quantique pour optimiser la photosynthèse, ce qui signifie que ces cellules ont franchi l'obstacle de la décohérence quantique qui devrait rendre ce processus impossible à température ambiante. De quoi relancer les spéculations sur la biologie quantique, le fonctionnement du cerveau mais aussi de rendre plus crédibles les ordinateurs quantiques.

Les fondateurs de la mécanique quantique, Bohr, Heisenberg et Schrödinger l'avaient suspecté depuis longtemps. Si la matière ne peut pas être ultimement comprise comme des sortes de boules de billard dans l'espace et dans le temps gouvernées par des lois déterministes, il fallait aussi s'attendre à des limitations des images issues de la physique du XIXe siècle lorsqu'il s'agit de comprendre plus en profondeur les systèmes biologiques.

On sait que le grand physicien Roger Penrose avait suggéré depuis presque 20 ans que des processus quantiques étaient peut-être à l'œuvre dans le cerveau humain, rendant vains les espoirs des tenants de la conscience artificielle de pouvoir un jour obtenir l'équivalent d'une conscience à partir d'un ordinateur classique possédant la puissance de calcul suffisante. Beaucoup lui avaient objecté, avec raison, que les processus d'intrication-superposition quantiques qu'il supposait pouvoir opérer dans le cerveau ne pouvaient exister car ils seraient très rapidement détruits par le processus de décohérence, inévitable pour un système physique fonctionnant à température ambiante.

Le même genre d'objection avait été avancée à tous ceux qui prévoient monts et merveilles avec les ordinateurs quantiques. Là encore, pour pouvoir surpasser les superordinateurs classiques, les systèmes quantiques utilisés pour exploiter le principe de superposition des états au cœur de la mécanique quantique, et calculer avec un grand nombre de qubits, auraient nécessairement été bien trop gros et chauds pour permettre à la cohérence quantique d'exister suffisamment longtemps pour effectuer les calculs.

D'autres, comme le physicien spécialiste de la théorie quantique des champs en espace-temps courbes, Paul Davies, s'interrogeaient plus généralement sur le rôle de la mécanique quantique au niveau de l'information génétique et même pour l'origine de la vie. Là encore, des processus quantiques liées aux amplitudes de probabilité et à l'intrication quantique auraient peut-être permis aux molécules prébiotiques de s'organiser bien plus efficacement qu'on ne l'imagine pour faire apparaître et se complexifier de l'ADN et de l'ARN. Lentement mais sûrement, la notion de biologie quantique commençait donc à prendre corps.

Paul Davies n'est pas qu'un spécialiste de la théorie quantique des champs en espace-temps courbes, il s'occupe aussi beaucoup d'exobiologie. Crédit : **ASU Tom Story**

### ***La photosynthèse plus efficace et peut-être une piste vers l'ordinateur quantique***

Ce qui n'était encore que des spéculations hardies de théoriciens explorant les frontières de la science viennent peut-être de recevoir une indispensable assise expérimentale, si l'on en croit une publication dans *Nature* de février 2010 et celle d'un autre groupe de chercheurs qui a déposé un article sur *arXiv*.



Selon le premier groupe de chercheurs, ils auraient la preuve que des systèmes biologiques comme des algues marines du nom de *Chroomonas CCMP270* et *Rhodomonas CS24* défient bel et bien la théorie de la décohérence quantique en utilisant les amplitudes quantiques pour faire de la photosynthèse à 21°C !

Il y a quelques années, en 2007, Graham Fleming, Gregory Engel avaient déjà montré que les Bacteriochlorophylles, des pigments photosynthétiques présents dans les bactéries sulfureuses vertes pouvaient exploiter la cohérence quantique pour optimiser le transfert de l'énergie lumineuse absorbée. Sauf que le phénomène se produisait à une température de 77 K, précisément les basses températures exigées pour que le phénomène de décohérence ne soient pas trop rapide et que le système fonctionne comme un ordinateur quantique.

Toutefois, les chercheurs soupçonnaient que cela n'était que la pointe émergée de l'iceberg. De la même façon que d'autres phénomènes quantique censés être confinés au domaine microscopique sont bel et bien observables à notre échelle, comme la superfluidité de l'hélium 4 et la supraconductivité, on ne pouvait exclure que des mécanismes protecteurs limitant les effets de la décohérence quantique n'avaient été découverts et utilisés au cours de l'évolution. Si ces molécules étaient capables de fonctionner comme des ordinateurs quantiques à basses températures et que le phénomène rendait bien compte de la paradoxale efficacité du transfert d'énergie pour les organismes photosynthétiques à températures ambiantes, on ne pouvait négliger cette possibilité.

En utilisant la même technique que le groupe de Fleming et Engel, des impulsions lasers femtosecondes pour pister les transferts d'énergies dans des molécules complexes, Gregory Scholes, de l'Université de Toronto au Canada, et ses collègues auraient démontré que les structures qui captent les photons dans le cas des algues *Chroomonas* et *Rhodomonas*, que l'on appelle des antennes, coordonnent le plus efficacement les transferts d'énergie le long de plusieurs pigments moléculaires. Les amplitudes quantiques sondent alors l'état des chemins possibles et déterminent celui qui est le plus rapide et avec le moins de perte d'énergie. La cohérence quantique est maintenue pour cela pendant 400 femtosecondes ( $4 \times 10^{-13}$  seconde) alors qu'à cette température de 21°C, cela ne devrait pas être possible selon les chercheurs.

Parallèlement, Gregory Engel et ses collègues ont aussi publié un article sur *arXiv* dans lequel ils annoncent avoir répliqué leur expérience de 2007 mais cette fois à la température de 4°C aussi et annoncent que l'obstacle de la décohérence ne semble pas être là puisque la cohérence quantique a été observée durant 300 femtosecondes.

Ces résultats semblent trop beaux pour être vrais et il serait sage d'attendre encore un peu pour être sûr qu'aucun biais théorique ou expérimental n'est entré en ligne de compte. Mais s'ils se confirment, c'est une vraie révolution non seulement dans le monde de la physique mais aussi en biologie et pour la technologie.

Il a tout d'abord le fait que si la nature sait faire fonctionner des ordinateurs quantiques à température ambiante, il devrait être possible, en théorie du moins, d'en construire qui soient capables de calculer avec un grand nombre de qubits. Des possibilités difficilement imaginables actuellement pourraient alors devenir réalité.

Enfin, cette découverte pourrait être à la biologie ce que celle de l'effet photoélectrique a été à la physique, le début d'une profonde révolution et un changement de paradigme. Il existe peut-être véritablement une biologie quantique que nous commençons tout juste à entrevoir..

Source <http://ufoetscience.e-monsite.com/rubrique,de-la-coherence-quantique-a-te,512105.html>

**Esprit quantique** - D'après Wikipédia

Demande de traduction --- **(en)**Quantum mind → **(fr)**Esprit quantique --- (+)

L'**esprit quantique** est une hypothèse qui suggère que des phénomènes quantiques, tels l'[intrication](#) et la [superposition d'états](#), sont impliqués dans le fonctionnements du [cerveau](#) et en particulier, dans l'émergence de la [conscience](#). Cette hypothèse part du principe, controversé, que la [physique classique](#) et son [déterminisme](#) ne peut totalement expliquer la conscience. Ses fondements théoriques ont été posés dans les [années 1960 en sciences](#) mais depuis ses partisans ne sont pas encore parvenus à la démontrer.

Cette théorie n'en est qu'à ses débuts, elle a pourtant le soutien le [Roger Penrose](#) et de Stuart Hameroff. [Karl H. Pribram](#) et Henry Stapp ont, de leurs côtés, proposé une variante.

## Sommaire

- [1 Motivation](#)
  - o [1.1 La conscience décentrée](#)
  - o [1.2 Réduction du mystère](#)
- [2 Quelques théories](#)
  - o [2.1 David Bohm](#)
  - o [2.2 Gustav Bernroider](#)
  - o [2.3 Roger Penrose](#)
- [3 Débats](#)
  - o [3.1 Scientifique](#)
  - o [3.2 Philosophique](#)
- [4 Notes et références](#)

**Motivation** [[modifier](#)]

**La conscience décentrée** [[modifier](#)]

L'argument principal de l'hypothèse de l'esprit quantique est que la [physique](#) classique ne peut à elle seule expliquer la [conscience](#). Cela parce que [Galilée](#) et [Newton](#) exclurent les sensations du monde physique.

[Fritjof Capra](#) a écrit :

Pour que les scientifiques soient capables de décrire la nature mathématiquement, Galilée pensait qu'ils devaient se contenter d'étudier les propriétés essentielles des corps -la forme, le nombre et le mouvement- qui pouvaient être mesurées et quantifiées. Les autres propriétés comme la couleur, le son, le goût ou l'odeur, étaient simplement des représentations subjectives, qui devaient être exclues du domaine de la science<sup>1</sup>.

Cette question des [qualia](#), des expériences phénoménales qualitatives, est souvent désignée comme le **problème ardu** ou **difficile** (*Hard problem*), expression du philosophe [David Chalmers](#).

### **Réduction du mystère** [[modifier](#)]

Le philosophe David Chalmers, plaisantant à peine, déclare que la volonté des théories sur l'Esprit Quantique est : "une Loi de Réduction du Mystère : la conscience est mystérieuse et la mécanique quantique l'est aussi, peut-être alors ces deux mystères ont-ils une source commune."<sup>2</sup>

### **Quelques théories** [[modifier](#)]

#### **David Bohm** [[modifier](#)]

[David Bohm](#) affirme que la [mécanique quantique](#) et la [théorie de la relativité](#) sont contradictoires et que cette contradiction implique qu'il existe un niveau encore plus fondamental dans l'univers physique. Il affirme que la mécanique quantique et la relativité pointent vers cette théorie plus profonde. Ce niveau plus fondamental représenterait une unité indivisible et un [ordre implicite](#) à partir desquels apparaît l'ordre explicite de l'univers tel que nous le connaissons. L'ordre implicite de Bohm s'applique à la fois à la matière et la conscience, et il propose que cet ordre implicite pourrait expliquer la relation entre matière et conscience. L'esprit et la matière sont vues comme des projections dans notre ordre explicite à partir de la réalité sous-jacente de l'ordre implicite.

Dans le formalisme de Bohm, il y a un niveau fondamental où la conscience n'est pas distincte de la matière. La position de Bohm sur la conscience est liée à la théorie holographique du cerveau de Karl Pribram. Celui-ci considère que la vue et les autres sens sont des lentilles sans que les autres sens apparaissent comme des hologrammes. Pribram affirme que l'information est enregistrée dans tout le cerveau et qu'elle est enveloppée dans un tout de manière similaire à un hologramme. Il est suggéré que les souvenirs sont connectés par association et qu'ils sont manipulés par la pensée logique. Si le cerveau reçoit aussi des informations à travers nos sens, alors les souvenirs, les associations, la pensée logique et la perception sensorielle sont censés être unifiés dans l'expérience globale de la conscience.

En essayant de décrire la nature de la conscience, Bohm évoque l'expérience d'écouter de la

musique. Il pense que la sensation de mouvement et de changement qui constitue l'expérience de la musique provient à la fois du passé immédiat et du présent conservés ensemble dans le cerveau, que les notes du passé sont vues comme des transformations plutôt que des souvenirs. Les notes qui étaient implicites dans le passé immédiat sont perçues comme explicites dans le présent. Bohm compare ce phénomène à la conscience qui se dégage de l'ordre implicite.

Bohm considère que le mouvement, les changements et aussi la cohérence d'expériences comme écouter de la musique comme la manifestation d'un ordre implicite. Il affirme détenir la preuve de ce qu'il affirme à partir des travaux de Pagiat (16) sur les nouveau-nés. Il affirme que ces travaux démontrent que les bébés doivent faire l'apprentissage du temps et de l'espace qui font partie de l'espace explicite, mais par contre ils ont une perception du mouvement qui est *codée en dur* car faisant partie de l'ordre implicite. Bohm compare ce *codage en dur* et la théorie de Chomsky qui affirme que la grammaire est *codée en dur* dans les cerveaux des enfants. Dans ses papiers, Bohm n'a jamais proposé un mécanisme spécifique du cerveau par lequel l'ordre implicite pourrait émerger en rapport avec la conscience.

### **Gustav Bernroider** [[modifier](#)]

Des papiers récents du physicien Gustav Bernroider, ont laissé à penser que ce dernier fait l'hypothèse que la structure implicite/explicite de Bohm peut être prise en compte pour la relation entre les processus neuronaux et la conscience<sup>3</sup>. Dans un papier publié en 2005, Bernroider a précisé sa thèse en ce qui concerne les bases physiques de ce processus<sup>4</sup>. L'idée principale développée dans son papier est que la cohérence quantique peut être entretenue dans les canaux ioniques des neurones suffisamment longtemps pour pouvoir être utilisée par les processus neuronaux. De plus, ces canaux peuvent superposés aux lipides environnants, des protéines et d'autres canaux de la même membrane. Les canaux ioniques régulent le potentiel électrique à travers la membrane de l'axone, et par conséquent jouent un rôle central dans le traitement de l'information par le cerveau.

Bernroider base ses travaux sur des études récentes du canal ionique potassium ( $K^+$ ) dans son état fondamental. Il s'inspire particulièrement des recherches sur la spectroscopie au niveau atomique de l'équipe de MacKinnon<sup>5,6,7,8,9</sup>. Les canaux ioniques ont une région qui sert de filtre qui accepte les ions  $K^+$ , mais qui ne laisse pas passer les autres ions. Ces travaux montrent que la région filtre a une structure de 5 ensembles de 4 atomes d'oxygène. Cette structure fait partie du groupe carboxyle des molécules acido-aminées dans la protéine environnante. Ces dernières sont appelées poches de liaison. Deux ions  $K^+$  sont piégés dans le filtre de sélection du canal ionique fermé. Chacun de ces ions est lié électrostatiquement à 2 ensembles d'atomes d'oxygène ou poches de liaison, ce qui implique 8 atomes d'oxygène au total. Chacun de ces ions dans le canal oscillent entre deux configurations.

Bernroider utilise cette structure qui a été récemment découverte pour spéculer sur la possibilité d'une cohérence quantique des canaux ioniques. Les calculs de Bernroider et de son co-auteur Sisir Roy les amènent à penser que le comportement des ions dans le canal K ne peut être compris qu'au niveau quantique. Ceci est leur hypothèse de départ. Ensuite, ils se demandent si la structure du canal ionique peut être liée à des états logiques. Des calculs supplémentaires les amènent à penser que les ions  $K^+$  et les atomes d'oxygène des poches de

liaison sont deux systèmes quantiques superposés, qu'ils peuvent alors considérer comme un [ordinateur quantique](#) effectuant le calcul d'une correspondance. Les ions qui sont destinés à être expulsés du canal sont supposés encoder l'information concernant l'état des atomes d'oxygène. Il est aussi proposé que les canaux ioniques séparés pourraient être liés au niveau quantique.

### **Roger Penrose** [\[modifier\]](#)

Dans *Le nouvel esprit de l'empereur*<sup>10</sup> et *Les ombres de l'esprit*<sup>11</sup> Roger Penrose dit :

1. Les êtres humains ont des capacités, particulièrement en mathématique, qu'aucun ordinateur algorithmique (comme la [machine de Turing](#)) ne peut avoir. Ceci parce que les ordinateurs sont limités par le [théorème d'incomplétude de Gödel](#). En d'autres termes il considère les êtres humains comme des [hyperordinateurs](#). (Argument originairement soulevé par [John Lucas](#).)

La pensée de Penrose est très controversée : la faculté humaine, qui génère des théorèmes, peut aller au-delà de ce qui est démontrable par des axiomes mathématiques. Pour cette raison, il y a quelque chose dans le cerveau qui ne procède pas de manière algorithmique (par un système de calculs).

Penrose n'est pas intéressé par l'explication de la conscience ou des [qualia](#), généralement considérés comme les attributs les plus mystérieux de la conscience. Il est plutôt orienté vers les capacités cognitives des mathématiciens.

Ces assertions ont été vigoureusement contestées par de nombreuses critiques et notamment par les philosophes Churchland et Grush<sup>12,13</sup>.

2. Penrose prétend que le procédé encore inexploré sur lequel repose de la [réduction du paquet d'onde](#) fournit cet élément non-algorithmique. Le choix aléatoire, par exemple, du positionnement d'une particule, engagé dans l'effondrement de la fonction d'onde, fut le seul procédé que Penrose trouva, qui n'est pas basé sur un algorithme. Cependant, le caractère indéterminé n'encourageait pas la "qualité du jugement mathématique", mis en avant par le théorème de Gödel.

Penrose considère que lorsque la fonction d'onde s'effondre lorsqu'on la mesure ou par [décohérence](#), alors cela pourrait laisser une alternative à cet effondrement, qu'il appela la réduction objective (OR). Dans ce cas, chaque superposition quantique a sa propre structure spatio-temporelle. Lorsqu'elle est séparée par plus que la [constante de Planck](#), elle est affectée par la gravité, devient instable et s'effondre. Cela est très différent de l'orthodoxie traditionnelle de [Niels Bohr](#) et de son [interprétation de Copenhague](#) et même de théories plus modernes qui contournent l'effondrement de la fonction d'onde : l'intervention de mondes multiples ([théorie d'Everett](#)) ou certaines formes de la théorie de la décohérence.

En outre, Penrose estime que la Réduction Objective ne procède ni de manière algorithmique, ni de manière aléatoire, elle est 'non-informatique', sélectionnant les données contenues à un niveau spatiotemporel fondamental.

3. L'effondrement nécessite un état superposé pour qu'il puisse être étudié. Penrose emprunte à Stuart Hameroff, l'intervention des microtubules, reliant les neurones.

Initialement, Penrose manquait d'explications sur la manière dont l'OR pouvait intervenir dans le cerveau. Ce fut le travail conjoint avec Hameroff<sup>14</sup> qui le lui fournit. Les microtubules étaient en effet au cœur du propos d'Hameroff. Les microtubules sont des parties essentielles du [cytosquelette](#), et jouent un rôle important dans certaines fonctions des cellules du corps humain. Dans cette étude, il fut proposé que ces microtubules pouvaient contenir des éléments quantiques connus sous le nom de [condensat de Bose-Einstein](#). Ces condensats pouvaient relier les neurones à travers l'aspect creux des microtubules, permettant ainsi à la superposition quantique de s'étendre sur de grandes parties du cerveau. De même, il est suggéré que lorsqu'un de ces parties s'effondre, cela provoque un instant de conscience, une information provenant d'un niveau spatiotemporel fondamental est alors mise à disposition du cerveau.

En même temps, il a été avancé que l'activité des synapses influence et est influencée par l'activité des microtubules. Ce que Penrose et Hameroff appellent une "orchestration". De là provient le nom de la théorie de Réduction Objective ou communément appelée Orch Or.

Les propositions de ces deux scientifiques soulèvent de nombreuses critiques. La plus courante contre l'Orch OR (et plus généralement sur tout l'esprit quantique) est que les conditions à l'intérieur du cerveau ne peuvent conduire qu'à un enchaînement, à la fois d'état superposés et d'effondrements, bien trop rapides pour être pertinent au niveau des neurones et donc de la conscience.

**Débats** [[modifier](#)]

**Scientifique** [[modifier](#)]

Le principal argument contre la proposition d'esprit quantique est que la décohérence des paquets d'onde à l'intérieur du cerveau serait trop rapide pour jouer un rôle significatif dans le traitement neuronal. [Max Tegmark](#) est sans doute le plus fervent partisan de cette assertion.

Selon les [sceptiques du Québec](#), la contribution de la [mécanique quantique](#) aux théories modernes (philosophiques ou spirituelles) de la conscience et du cerveau fait un emploi profitable de ces nouvelles explorations pour proposer de nouveaux [paradigmes](#) et des programmes de "transformation de soi" en inculquant la conviction que chacun est finalement responsable de la création de sa propre réalité. Ce qui incite à distinguer prudemment la [science](#) des courants spirituels, car c'est une situation où la science (avec la mécanique quantique) est détournée de son contexte<sup>15</sup>.

## Philosophique [[modifier](#)]

Une critique fréquemment formulée est qu'aucune théorie physique, qu'elle soit classique ou quantique, n'est véritablement capable d'expliquer la conscience, particulièrement dans sa forme la plus problématique : la conscience phénoménale ou [qualia](#), connue pour être le [problème difficile de la conscience](#)<sup>16</sup>. Si aucune théorie physique ne peut exprimer ce que sont les qualia, alors aucune théorie physique ne peut pleinement expliquer la conscience. Remplacer les processus de la physique classique par ceux de la physique quantique n'est donc d'aucune aide à la compréhension de la conscience.

Le philosophe [David Chalmers](#), critique les deux théories et ajoute : "Les approches quantiques de la raisons souffrent des mêmes lacunes que les explications neurales ou computationnelles. Les phénomènes quantiques ont des propriétés étonnantes, comme l'absence de déterminisme et la non-localité. Il est donc naturel de penser que ces propriétés pourraient jouer un rôle dans l'explication des fonctions cognitives, comme les choix aléatoires ou l'assimilation des informations. Cependant, lorsque nous devons expliquer proprement ce qu'est l'expérience, les explications quantiques se trouvent dans la même incapacité que les autres approches. La question de savoir pourquoi ces processus devraient donner lieu à la naissance de l'expérience est toujours en suspens."

## Notes et références [[modifier](#)]

1. [↑](#) [Capra, F. \*The Turning Point\* \[archive\]](#)
2. [↑](#) [Chalmers, D. \*Facing up to the Problem of Consciousness\* \[archive\]](#)
3. [↑](#) **(en)** Gustav Bernroider, *Quantum neurodynamics and the relation to conscious experience*, *Neuroquantology*, 2, 2003, p. 19 [\[1\]](#) [\[archive\]](#)
4. [↑](#) **(en)** Bernroider, G.& Roy, S, *Quantum entanglement of K ions, multiple channel states and the role of noise in the brain - SPIE Vol. 5841-29*, 2005, p. 205-214 [\[2\]](#) [\[archive\]](#)
5. [↑](#) **(en)** Jiang, Y., MacKinnon, R. et al., *The principle of gating charge movement in a voltage dependent K+ channel - Nature 42*, 2003, p. 33-41 [\[3\]](#) [\[archive\]](#)
6. [↑](#) **(en)** Jiang, Y., MacKinnon, R. et al., *X-ray structure of a voltage dependent K+ channel - Nature, 42*, 2003, p. 42-48 [\[4\]](#) [\[archive\]](#)
7. [↑](#) **(en)** Zhou, Y., Morais-Cabral, A., Kaufman, A. & MacKinnon, R., *Chemistry of ion coordination and hydration revealed in K+ channel-Fab complex at 2.0 Å resolution - Nature, 414*, 2001, p. 43-48 [\[5\]](#) [\[archive\]](#)
8. [↑](#) **(en)** Morais-Cabral, H., Zhou, H. & MacKinnon, R., *Chemistry of ion coordination and hydration revealed in K+ channel-Fab complex at 2.0 Å resolution - Nature, 414*, 2001, p. 37-42 [\[6\]](#) [\[archive\]](#)
9. [↑](#) **(en)** Doyle, D., MacKinnon, R. et al., *The structure of the potassium channel: Molecular basis of K+ conduction and selectivity - Science, 280*, 1998, p. 69-76
10. [↑](#) [The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics](#) [ISBN 0-19-851973-7](#)
11. [↑](#) [Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness](#) [ISBN 0-19-](#)

[853978-9](#)

12. [↑](#) Grush, R.& Churchland, P. (1995) - Gap's in Penrose's Toilings - Journal of Consciousness Studies, 2,(1), pp.10-29
13. [↑](#) Churchland, P. (1996) - The Hornswoggle Problem - Journal of Consciousness Studies,3,Nos5-6,pp.218-20
14. [↑](#) Hameroff, S. (1987) - Ultimate Computing - Elsevier
15. [↑](#) <http://www.sceptiques.qc.ca/activites/conferences/Mai-2006> [archive]
16. [↑](#) Saul-Paul Sirag"[Consciousness:A Hyperspace View](#) [archive]"

Source : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Esprit\\_quantique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Esprit_quantique)

**Déplacement de Lamb**, en anglais ***Lamb shift*** - From Wikipedia, the free encyclopedia

In [physics](#), the **Lamb shift**, named after [Willis Lamb](#) (1913–2008), is a small difference in [energy](#) between two [energy levels](#)  $^2S_{1/2}$  and  $^2P_{1/2}$  (in [term symbol](#) notation) of the [hydrogen atom](#) in [quantum electrodynamics](#) (QED). According to [Dirac](#), the  $^2S_{1/2}$  and  $^2P_{1/2}$  orbitals should have the same energies. However, the interaction between the electron and the vacuum causes a tiny energy shift on  $^2S_{1/2}$ . Lamb and Robert Retherford measured this shift in 1947, and this measurement provided the stimulus for renormalization theory to handle the divergences. It was the harbinger of modern QED as developed by [Julian Schwinger](#), [Richard Feynman](#), and [Shinichiro Tomonaga](#). Lamb won the [Nobel Prize in Physics](#) in 1955 for his discoveries related to the Lamb shift.

## Contents

- [1 Derivation](#)
- [2 Experimental work](#)
- [3 Lamb shift in the hydrogen spectrum](#)
- [4 See also](#)
- [5 References](#)
- [6 Further reading](#)
- [7 External links](#)

**Electrodynamique quantique** - Article de Wikipédia



Cet article est une **ébauche** concernant la **physique**. Vous pouvez partager vos connaissances en l'améliorant ([comment ?](#)) selon les recommandations des [projets correspondants](#).



Cet article a besoin d'être illustré (**en discuter**). Pour améliorer cet article, des médias (images, vidéos, sons) [sous licence libre ou du domaine public](#) sont les bienvenus. Si vous êtes l'auteur d'une image que vous souhaitez partager, [importez-la](#). Si vous n'êtes pas l'auteur, vous pouvez néanmoins faire une [demande de libération d'image](#) à son auteur.

**L'électrodynamique quantique relativiste** (***Quantum electrodynamics*** en anglais ou



**QED** ) est une théorie [physique](#) ayant pour but de concilier l'[électromagnétisme](#) avec la [mécanique quantique](#) en utilisant un formalisme [Lagrangien relativiste](#). Selon cette théorie, les [charges électriques interagissent](#) par échange de [photons](#).

## Sommaire

- [1 Description](#)
- [2 La renormalisation](#)
- [3 Le Lagrangien de l'interaction](#)
- [4 Voir aussi](#)
- [5 Bibliographie](#)
  - o [5.1 Ouvrages de vulgarisation](#)
  - o [5.2 Ouvrages de référence](#)

## Description [\[modifier\]](#)

L'électrodynamique quantique est une [théorie quantique des champs](#) de l'[électromagnétisme](#). Elle décrit l'interaction électromagnétique des particules [chargées](#) et a été appelée le "bijou de la physique" ([Richard Feynman](#) ; *Lumière & matière : une étrange histoire*) pour ses prédictions extraordinairement précises dans la détermination théorique de quantités (mesurées par ailleurs) telles que l'[anomalie de moment magnétique](#) des [leptons](#), ou encore le [décalage de Lamb](#) des [niveaux d'énergie](#) de l'[hydrogène](#).

Mathématiquement, cette théorie a la structure d'un [groupe abélien](#) avec un [groupe de jauge](#) [U\(1\)](#). Le [champ de jauge](#) qui intervient dans l'interaction entre deux charges représentées par des [champs](#) de [spin 1/2](#) est le [champ électromagnétique](#). Physiquement, cela se traduit en disant que les particules chargées interagissent par l'échange de [photons](#).

L'électrodynamique quantique fut la première théorie quantique des champs dans laquelle les difficultés pour élaborer un formalisme purement quantique permettant la création et l'annihilation de particules ont été résolus de façon satisfaisante.

[Tomonaga](#), [Schwinger](#) et [Feynman](#) ont reçu en [1965](#) le [prix Nobel de physique](#) pour leur contribution à cette théorie, en particulier par la mise au point du calcul des quantités observables en utilisant la covariance et l'invariance de jauge.

## La renormalisation [\[modifier\]](#)

La procédure de [renormalisation](#) pour s'affranchir de quantités infinies indésirables rencontrées en [théorie quantique des champs](#) a trouvé en l'électrodynamique quantique sa première réussite.

## Le Lagrangien de l'interaction [\[modifier\]](#)

Le [lagrangien](#) relativiste de l'interaction entre [électrons](#) et [positrons](#) par l'échange de [photons](#) est:

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(i\gamma_{\mu}D^{\mu} - m)\psi - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

$\psi$  et  $\bar{\psi}$  sont les [champs](#) représentant des particules chargées électriquement, les électrons et positrons sont représentés par des champs de [Dirac](#).

$\gamma_{\mu}$  sont les [matrices de Dirac](#), qui se construisent avec des [matrices de Pauli](#)  $\sigma_i$ .

$D_{\mu} = \partial_{\mu} + ieA_{\mu}$  est la dérivée covariante de jauge,

avec  $e$  la constante de couplage (égale à la [charge élémentaire](#)),

$A_{\mu}$  est le [quadrivecteur potentiel](#) de l'[électromagnétisme](#).

Et  $F_{\mu\nu} = \partial_{\mu}A_{\nu} - \partial_{\nu}A_{\mu}$  est le [tenseur électromagnétique](#) apparaissant en relativité restreinte.

Cette part du lagrangien décrit la propagation libre du [champ électromagnétique](#), tandis que la partie ressemblant à l'[équation de Dirac](#) décrit l'évolution de l'[électron](#) et du [positron](#) dans leur interaction par l'intermédiaire du [quadrivecteur potentiel](#).

## Voir aussi [\[modifier\]](#)

- [théorie quantique des champs](#)
- [théorie de jauge](#)
- [Renormalisation](#)
- [modèle standard](#).

## Bibliographie [\[modifier\]](#)

### Ouvrages de vulgarisation [\[modifier\]](#)

- [Richard Feynman, \*Lumière & matière : une étrange histoire\* \*\*\(en\)\*\*](#), InterEditions (1987), [ISBN 2-7296-0154-6](#). Réédition en poche dans la collection Points Sciences **86**, Le Seuil (1999), [ISBN 2-02-014758-0](#).

## Ouvrages de référence [[modifier](#)]

- [Claude Cohen-Tannoudji](#), Jacques Dupont-Roc & Gilbert Grynberg, *Photons et atomes – Introduction à l'électrodynamique quantique*, [[détail des éditions](#)].
- J. M. Jauch, F. Rohrlich, *The Theory of Photons and Electrons* (Springer-Verlag, 1980)
- R. P. Feynman, *Quantum Electrodynamics* (Perseus Publishing, 1998) [[ISBN 0-201-36075-6](#)]

Source [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectrodynamique\\_quantique](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectrodynamique_quantique)

## Liaison hydrogène - Introduction d'un article de Wikipédia



Cet article est une **ébauche** concernant les **réactions chimiques**. Vous pouvez partager vos connaissances en l'améliorant ([comment ?](#)) selon les recommandations des [projets correspondants](#).

La **liaison hydrogène** ou **pont hydrogène** est une [liaison physique](#) non [covalente](#), de type [dipôle-dipôle](#). Elle est de basse intensité (vingt fois plus faible que liaison covalente classique), et relie des molécules en impliquant un atome d'hydrogène. On pensait à l'origine que l'électron de cet atome était partagé entre les molécules liées<sup>1</sup>, et donc que cette liaison hydrogène était quasi-covalente. On sait aujourd'hui qu'elle est à 90% électrostatique<sup>2</sup>. Bien que de la même famille que les [forces de van der Waals](#), les liaisons hydrogène s'en distinguent par leur intensité : leur énergie de liaison est environ dix fois supérieure à celle de la force de van der Waals.

Pour que cette liaison s'établisse, il faut être en présence d'un donneur de liaison hydrogène et d'un accepteur :

- le donneur est composé d'un composé à H acide, c'est-à-dire un [hétéroatome](#) (azote, oxygène, fluor) porteur d'un atome hydrogène (comme dans les amines, alcools, thiols) ;
- l'accepteur est composé d'un hétéroatome (uniquement azote, oxygène ou fluor) porteur de doublets libres.

Lorsqu'une liaison hydrogène s'établit, les deux hétéroatomes se trouvent à une distance d'environ 2 Å, c'est-à-dire 0,2 nm.

Exemples :  $\text{H}_2\text{O} \cdots \text{H}-\text{O}-\text{H}$  ;  $-\text{C}=\text{O} \cdots \text{H}-\text{O}-\text{H}$

🔍 Schéma à voir à la source : Liaison hydrogène entre des molécules d'eau.

## Sommaire

- [1 Conséquences de la liaison hydrogène](#)
- [2 Les liaisons hydrogène par type](#)
- [3 Propriétés des ponts hydrogènes](#)

- [4 Notes](#)
- [5 Article connexe](#)

Article complet sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liaison\\_hydrog%C3%A8ne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liaison_hydrog%C3%A8ne)

## **Mécanique quantique** - Article de Futura-Sciences

La mécanique quantique est la théorie mathématique et physique décrivant la structure et l'évolution dans le [temps](#) et l'espace des phénomènes physiques à l'échelle de l'[atome](#) et en dessous. Elle a été découverte lorsque les physiciens ont voulu décrire le comportement des atomes et les échanges d'énergie entre la [lumière](#) et la matière à cette échelle et dans tous les détails.

Plusieurs noms lui sont associés, et en tout premier lieu [Planck](#) et Einstein qui furent les premiers à comprendre que les échanges d'énergie, puis l'énergie elle-même, ne pouvaient exister que sous formes quantifiées. Bohr étendit les [postulats](#) quantiques de Planck et d'Einstein de la lumière à la matière, en proposant un modèle reproduisant le [spectre](#) de l'atome d'hydrogène.

Photo De gauche à droite Max Planck et [Albert Einstein](#). A voir à la source

Pas à pas, des règles furent trouvées pour calculer les propriétés des atomes, des [molécules](#) et de leurs interactions avec la lumière lorsque, de 1925 à 1927, toute une série de travaux de plusieurs physiciens et mathématiciens donnèrent corps à deux théories générales applicables à ces problèmes:

- la mécanique ondulatoire de De Broglie et surtout Schrödinger.
- la mécanique matricielle de Heisenberg, Born et Jordan.

Ces deux mécaniques furent unifiées par Schrödinger du point de vue physique et par Von Neumann du point de vue mathématique. Enfin Dirac formula la synthèse ou plutôt la généralisation complète de ces deux mécaniques que l'on nomme aujourd'hui la mécanique quantique.

Photo De gauche à droite [Paul Dirac](#) et [Werner Heisenberg](#). A voir à la source

La mécanique quantique, appliquée à des particules comme l'[électron](#) ou au [champ électromagnétique](#) à l'origine de la lumière, montre en fait que ces deux objets ne sont ni vraiment des ondes ni vraiment des particules.

Comme Einstein l'avait montré, l'énergie présente dans une onde lumineuse est en fait sous forme de paquets discrets indivisibles, les [photons](#). De même, les électrons présentent des

aspects ondulatoires, comme De Broglie l'avait prédit, et l'on peut faire des expériences de [diffraction](#) et d'[interférence](#) avec eux.

Cette situation est souvent résumée par le terme de "dualité onde-[corpuscule](#)" pour la matière et la lumière.

[Niels Bohr](#) a essayé de construire une interprétation physique rendant compte de cette étrange dualité, c'est ce qui est appelée la [théorie de la complémentarité](#). Elle repose sur les [inégalités de Heisenberg](#).

Photo de Niels Bohr A voir à la source

Le [coeur](#) de la mécanique quantique repose sur l'utilisation d'amplitudes de probabilités pour caractériser tous les processus physiques possibles en mécanique quantique. Ce sont ces processus qui peuvent se propager sous forme d'ondes mais les grandeurs physiques associées à ces processus sont souvent quantifiées et donc discrètes. C'est le cas de l'énergie des électrons dans un atome.

L'[équation](#) fondamentale de la mécanique quantique est l'[équation de Schrödinger](#).

Le monde quantique est étrange, le flou probabiliste y règne et au fond, il indique une structure sous-jacente aux phénomènes qui est au-delà de l'espace et du temps. L'[émergence](#) d'un monde classique à partir d'un monde quantique n'est toujours pas bien comprise. C'est un des objets de la théorie de la décohérence que d'expliquer cette émergence.

**[Excellent livre d'Olivier Darrigol sur le développement historique de la mécanique quantique.](#)**

[Certains textes fondateurs.](#)

## **Cours de mécanique quantique**

[Le cours de Claude Aslangul.](#)

[Le cours de Frédéric Faure.](#)

[Le cours de Polytechnique.](#)

© 2001-2011 [Futura-Sciences](#), tous droits réservés. Source [http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/physique-2/d/mecanique-quantique\\_844/](http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/physique-2/d/mecanique-quantique_844/)

**Mécanique quantique** – D'après Wikipédia « La mécanique quantique est la branche de la **physique** qui a pour but d'étudier et de décrire les phénomènes fondamentaux à l'œuvre dans les **systèmes physiques**, plus particulièrement à

l'échelle **atomique** et **subatomique**. C'est aussi la partie de la physique où apparaît la **constante de Planck**. Elle fut développée au début du vingtième siècle par une dizaine de physiciens américains et européens, afin de résoudre différents problèmes que la physique classique échouait à expliquer, comme le **rayonnement du corps noir**, l'**effet photo-électrique**, ou l'existence des **raies spectrales**. Au cours de ce développement la mécanique quantique se révéla être très féconde en résultats et en applications diverses. Elle permit notamment d'élucider le mystère de la structure de l'**atome**, et plus globalement elle s'avéra être le cadre général de description du comportement des **particules élémentaires**, jusqu'à constituer le socle de la physique moderne. Elle fut complétée plus tard par la **théorie quantique des champs**, plus apte à décrire le comportement de la matière animée d'une vitesse proche de celle de la lumière. La mécanique quantique comporte de profondes difficultés conceptuelles, et son interprétation physique ne fait pas encore l'unanimité dans la communauté scientifique. Parmi ces concepts, on peut citer la **dualité onde corpuscule**, l'**amplitude de probabilité**, l'**intrication quantique** ou encore la **non-localité**... ».

## Sommaire

- [1 Panorama général](#)
  - o [1.1 Lois de probabilités](#)
  - o [1.2 Existence des quantas](#)
- [2 Bref historique](#)
- [3 Formulation de Dirac](#)
- [4 Équation de Schrödinger](#)
  - o [4.1 Interprétation physique de la fonction d'onde](#)
  - o [4.2 Méthodes de résolution](#)
- [5 Formulation de la mécanique quantique par intégrale de chemin](#)
- [6 Mécanique quantique et relativité](#)
- [7 Les inégalités de Heisenberg](#)
  - o [7.1 Inégalité position-impulsion](#)
  - o [7.2 Inégalité temps-énergie](#)
- [8 L'intrication](#)
- [9 Téléportation quantique](#)
- [10 Liste des expériences](#)
- [11 Quelques paradoxes](#)
- [12 La décohérence : du monde quantique au monde classique](#)

- [13 Notes et références](#)
- [14 Voir aussi](#)
- [15 Articles connexes](#)
  - o [15.1 Concepts fondamentaux](#)
  - o [15.2 Interprétation](#)
  - o [15.3 Problèmes, paradoxes et expériences](#)
  - o [15.4 Mathématique](#)
  - o [15.5 Mécanique quantique relativiste](#)
  - o [15.6 Informatique quantique](#)
  - o [15.7 Vide quantique](#)
  - o [15.8 Divers](#)
- [16 Bibliographie](#)
  - o [16.1 Ouvrages de vulgarisation](#)
  - o [16.2 Ouvrages de philosophie](#)
  - o [16.3 Ouvrages d'initiation](#)
  - o [16.4 Ouvrages destinés à l'apprentissage de la discipline](#)
  - o [16.5 Aspects historiques](#)
  - o [16.6 Sur la décohérence](#)
  - o [16.7 Bibliothèque virtuelle](#)
    - [16.7.1 Cours](#)
  - o [16.8 Lectures complémentaires](#)
- [17 Liens externes](#)
  - o [17.1 Sur la téléportation quantique](#)

Article complet sur le site [http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique\\_quantique](http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique_quantique)

**Permittivité** – D’après Wikipédia



**Cet article est une ébauche concernant l'électromagnétisme.** Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant ([comment ?](#)) selon les recommandations des [projets correspondants](#). Consultez la liste des **tâches à accomplir** en [page de discussion](#).

La permittivité, plus précisément permittivité diélectrique, est une propriété physique qui décrit la réponse d’un milieu donné à un **champ électrique** appliqué. C'est une grandeur **macroscopique**, essentielle de l'**électrostatique**, ainsi que de l'**électrodynamique des milieux continus**. Elle intervient dans de nombreux

domaines, notamment dans l'étude de la propagation des **ondes électromagnétiques**, et en particulier la **lumière** visible et les ondes utilisées en radiodiffusion. On la retrouve donc en **optique**, via l'**indice de réfraction**. Les lois régissant la **réfraction** et la **réflexion** de la lumière y font appel.

## Sommaire

- [1 Théorie](#)
  - o [1.1 Dans un milieu simple \(L.H.I.\)](#)
  - o [1.2 Dans un milieu plus complexe](#)
  - o [1.3 Dimensions](#)
- [2 Permittivité du vide et permittivité relative](#)
- [3 Permittivité d'un matériau](#)
- [4 Permittivité complexe](#)
- [5 Relations avec d'autres propriétés physiques](#)
  - o [5.1 Permittivité et susceptibilité](#)
  - o [5.2 Permittivité et polarisabilité](#)
  - o [5.3 Célérité de la lumière dans le vide](#)
  - o [5.4 Constante de structure fine](#)
- [6 Remarque](#)
- [7 Voir aussi](#)
  - o [7.1 Notes et références](#)
  - o [7.2 Articles connexes](#)
- [8 References](#)

Article complet sur : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Permittivité>

## Principe d'incertitude - Introduction d'un article de Wikipédia

**NB** : Le résumé introductif est absent ou ne respecte pas **les recommandations**. [En discuter](#), [s'en occuper](#).

**Le principe d'incertitude** fut énoncé au printemps 1927 par [Heisenberg](#) lors des balbutiements de la [mécanique quantique](#).

Le terme « incertitude » est le terme historique pour ce principe. Le nom de *Théorème d'indétermination* est parfois préféré car le principe ne porte pas sur l'ignorance "subjective" par l'expérimentateur de grandeurs, mais bien sur une impossibilité fondamentale de les déterminer, et même sur le fait que le concept de grandeur précise n'a pas de sens physique. De plus, ce principe étant démontré par les équations, il devient un théorème.

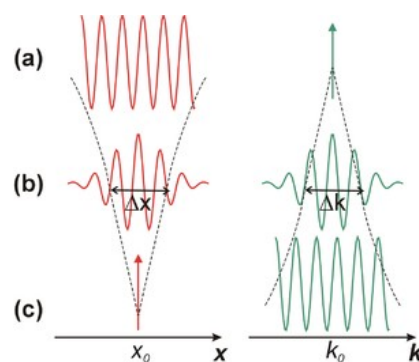


Les travaux de [Planck](#), [Einstein](#) et [De Broglie](#) avaient mis au jour que la nature quantique de la matière entraînait l'équivalence entre des propriétés ondulatoires ([fréquence](#) et [vecteur d'onde](#)) et corpusculaires ([énergie](#) et [impulsion](#)) selon les lois :  $E = \hbar\omega$  et  $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ .

La [dualité onde-corpuscule](#) confirmée alors par de nombreuses expérimentations posait un problème de fond aux physiciens. En effet, pour posséder une fréquence et un vecteur d'onde, un objet doit avoir une certaine extension en espace et en temps. Un objet quantique ne peut donc être ni parfaitement localisé, ni avoir une énergie parfaitement définie.

De manière simplifiée, ce principe d'indétermination énonce donc que — de façon assez contre-intuitive du point de vue de la mécanique classique — pour une particule massive donnée, on ne peut pas connaître simultanément sa position et sa vitesse. Soit on peut connaître précisément sa position (par ex: à  $\pm 1$  mm) contre une grande incertitude sur la valeur de sa vitesse (par ex: à  $\pm 100$  m/s), soit on peut connaître précisément sa vitesse (par ex: à  $\pm 0,0001$  m/s) contre une grande incertitude sur la valeur de sa position (par ex: à  $\pm 1$  km).

Cependant, si on renonce à considérer la particule en tant qu'objet corpusculaire, l'énoncé de ce principe devient plus intuitif. L'objet quantique ayant une certaine extension dans l'espace et une certaine durée de vie en temps, on le représente alors, non plus par un ensemble de valeurs scalaires (position, vitesse), mais par une fonction décrivant sa distribution spatiale. Toute l'information relative à la particule est contenue dans cette [fonction d'onde](#). Les mesures scalaires effectuées sur cette particule consistent à extraire seulement une partie de cette information, par l'intermédiaire d'opérateurs mathématiques.



Vues spatiale (position) et fréquentielle (impulsion) de (a) une onde, (b) un paquet d'onde et (c) un corpuscule. L'onde étant de fréquence pure, son impulsion est définie mais elle n'est pas localisée dans l'espace. Inversement, le corpuscule est localisé mais n'a pas de fréquence déterminée. Le cas général est celui du paquet d'onde qui est distribué en fréquence comme en espace. Du fait de la dualité entre les deux représentations l'étalement spatial est inversement proportionnel à l'étalement fréquentiel.

## Sommaire

- [1 Historique du terme](#)
- [2 Les relations de Heisenberg](#)
  - o [2.1 Description classique](#)

- o [2.2 Description quantique](#)
  - [2.2.1 Notion d'observable](#)
  - [2.2.2 Interprétation probabiliste](#)
- o [2.3 Inégalité de Heisenberg](#)
- o [2.4 Principe général de Heisenberg](#)
  - [2.4.1 Énoncé du principe de Heisenberg](#)
  - [2.4.2 Principe ou théorème ?](#)
  - [2.4.3 Autre formulation du principe de Heisenberg](#)
  - [2.4.4 Relations qui impliquent le moment cinétique \(ou angulaire\)](#)
  - [2.4.5 Relation temps-énergie](#)
  - [2.4.6 Perspective historique](#)
- [3 Difficulté d'interprétation](#)
  - o [3.1 Exemples](#)
  - o [3.2 La controverse Bohr-Einstein](#)
- [4 États comprimés](#)
- [5 Notes](#)
- [6 Voir aussi](#)
- [7 Bibliothèque virtuelle](#)
- [8 Bibliographie](#)
- [9 Lien externe](#)

Source de l'article complet [http://fr.wikipedia.org/wiki/Principe\\_d%27incertitude](http://fr.wikipedia.org/wiki/Principe_d%27incertitude)

## Résonance magnétique nucléaire - Introduction d'un article de Wikipédia

La **résonance magnétique nucléaire (RMN)** désigne une propriété de certains [noyaux atomiques](#) possédant un [spin](#) nucléaire (par exemple  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{129}\text{Xe}$ ...), placés dans un [champ magnétique](#). Lorsqu'ils sont soumis à un [rayonnement électromagnétique](#) ([radiofréquence](#)), le plus souvent appliqué sous forme d'impulsions, les [noyaux atomiques](#) peuvent absorber l'énergie du rayonnement puis la relâcher lors de la [relaxation](#). L'énergie mise en jeu lors de ce phénomène de résonance correspond à une [fréquence](#) très précise, dépendant du champ magnétique et d'autres facteurs moléculaires. Ce phénomène permet donc l'observation des propriétés [quantiques](#) magnétiques des noyaux dans les phases gaz, liquide ou solide.

Le phénomène RMN est exploité par la [spectroscopie de résonance magnétique nucléaire](#) (**Spectroscopie RMN**), une technique utilisée par plusieurs disciplines :

en **physique** et **chimie** (**chimie organique**, **chimie inorganique**, **science des matériaux**...) ou en **biochimie** (structure de **molécules**). Une extension sans doute plus connue dans le grand public est l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (**IRM**)<sup>note 1</sup> utilisée en médecine, mais également en chimie. Récemment, le phénomène RMN a été utilisé dans la technique de microscopie à force de résonance magnétique (**MRFM**) pour obtenir des images à l'échelle **nanométrique** grâce à une détection mécanique. Cette technique combine les principes de l'imagerie par résonance magnétique et de la microscopie à force atomique (**AFM**). Le phénomène RMN concerne le spin des noyaux atomiques. Un phénomène analogue existe aussi pour les **électrons** (à condition qu'ils ne soient pas appariés), c'est la résonance de spin électronique (**ESR**) aussi appelée résonance paramagnétique électronique (**RPE**). Il existe enfin un phénomène proche, mais qui se produit en l'absence de champ magnétique pour certains noyaux dit « quadripolaires » de spin supérieur à  $\frac{1}{2}$ , la résonance quadripolaire nucléaire (**RQN**).

## Sommaire

- [1 Historique](#)
- [2 Propriétés magnétiques des noyaux atomiques](#)
  - o [2.1 Le spin et moment magnétique nucléaire](#)
    - [2.1.1 Les isotopes potentiellement actifs en RMN](#)
  - o [2.2 Quantification du moment magnétique](#)
  - o [2.3 Interaction avec un rayonnement électromagnétique](#)
  - o [2.4 La précession de Larmor](#)
  - o [2.5 Le paramagnétisme nucléaire](#)
- [3 Les interactions internes](#)
  - o [3.1 Le déplacement chimique](#)
  - o [3.2 Les interactions dipolaires magnétiques](#)
    - [3.2.1 Les couplages dipolaires directs](#)
    - [3.2.2 Les couplages dipolaires indirects ou scalaires](#)
  - o [3.3 L'interaction quadripolaire](#)
- [4 La relaxation](#)
- [5 Mesure du signal RMN](#)
  - o [5.1 La détection inductive](#)
    - [5.1.1 Spectroscopie RMN à onde continue](#)
      - [5.1.1.1 Référentiel tournant](#)
      - [5.1.1.2 Champ magnétique effectif](#)

- [5.1.2 Spectroscopie RMN impulsionnelle](#)
    - [5.1.2.1 Relaxation et détection de l'induction libre \(FID\)](#)
  - o [5.2 Le principe de l'imagerie RMN](#)
  - o [5.3 La détection optique](#)
  - o [5.4 La détection mécanique](#)
  - o [5.5 La détection SQUID](#)
- [6 La description quantique de la résonance magnétique nucléaire](#)
  - o [6.1 Impulsions radiofréquence](#)
  - o [6.2 Opérateur densité](#)
- [7 Les applications de la résonance magnétique nucléaire](#)
  - o [7.1 La RMN en spectroscopie](#)
    - [7.1.1 Spectroscopie RMN en chimie organique](#)
    - [7.1.2 Spectroscopie RMN en biologie structurale](#)
    - [7.1.3 Spectroscopie RMN des solides](#)
  - o [7.2 Hyperpolarisation](#)
  - o [7.3 La RMN en imagerie médicale et biophysique](#)
  - o [7.4 La RMN en informatique quantique](#)
  - o [7.5 La RMN et l'imagerie dans le champ terrestre](#)
  - o [7.6 La résonance quadripolaire nucléaire](#)
- [8 Notes et références](#)
  - o [8.1 Notes](#)
  - o [8.2 Références](#)
  - o [8.3 Bibliographie](#)
    - [8.3.1 Ouvrages de base recommandés](#)
    - [8.3.2 Autres Ouvrages](#)
      - [8.3.2.1 Généraux](#)
      - [8.3.2.2 Spectroscopie RMN](#)
      - [8.3.2.3 Imagerie et microscopie RMN](#)
      - [8.3.2.4 RMN in informatique](#)

- [8.3.2.5 Encyclopédies](#)
- [9 Voir aussi](#)
  - o [9.1 Articles connexes](#)

Source : [http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sonance\\_magn%C3%A9tique\\_nucl%C3%A9aire](http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sonance_magn%C3%A9tique_nucl%C3%A9aire)

## **Transition de phase** – Extrait d'un article de Wikipédia

En [physique](#), une **transition de phase** est une transformation du système étudié provoquée par la variation d'un paramètre extérieur particulier ([température](#), [champ magnétique](#)...).

Cette transition a lieu lorsque le paramètre atteint une valeur seuil (plancher ou plafond selon le sens de variation). La transformation est un changement des propriétés du système ; cela peut être :

- la transformation d'un système [thermodynamique](#) d'une phase à une autre : [fusion](#), [ébullition](#), [sublimation](#), etc. ;
- le changement de comportement magnétique d'une pièce métallique ou céramique :
  - o un métal [ferromagnétique](#) passe d'un comportement [paramagnétique](#) à ferromagnétique au [point de Curie](#) ;
  - o certaines céramiques deviennent [supraconductrices](#) en dessous d'une température critique ;
- la condensation quantique de fluides bosoniques en [condensat de Bose-Einstein](#) ;
- la disparition de symétrie dans les lois de la physique au début de l'histoire de l'Univers quand sa température refroidit ;
- la transition de phase que semble subir la matière nucléaire à certaines énergies<sup>1</sup>.

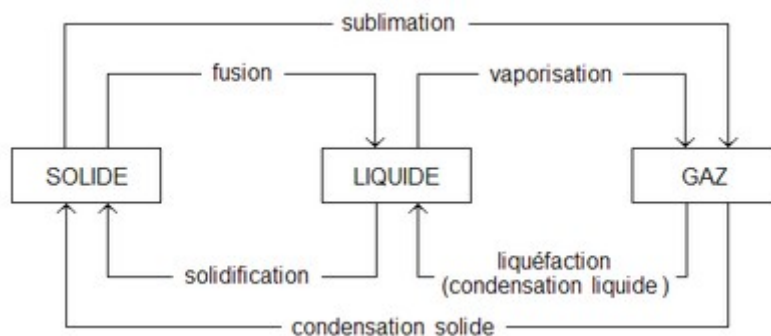
Les transitions de phases ont lieu lorsque l'[énergie libre](#) d'un système n'est pas une [fonction analytique](#) (par exemple non-[continue](#) ou non-[dérivable](#)) pour certaines variables thermodynamiques. Cette non-analyticité provient du fait qu'un nombre extrêmement grand de particules interagissent ; ceci n'apparaît pas lorsque les systèmes sont trop petits.

### **Sommaire**

- [1 Types de transition de phase courants](#)
- [2 Classification des transitions de phase](#)
  - o [2.1 Classification d'Ehrenfest](#)
  - o [2.2 Classification actuelle des transitions de phase](#)
- [3 Propriétés des transitions de phase](#)

- o [3.1 Points critiques](#)
- o [3.2 Symétrie](#)
- o [3.3 Exposants critiques et classes d'universalité](#)
- [4 Notes et références](#)
- [5 Annexes](#)
  - o [5.1 Articles connexes](#)
  - o [5.2 Bibliographie](#)

**Types de transition de phase courants [\[modifier\]](#)**



Voici le nom des transitions de phases (ou [changements d'état physique](#)) les plus courantes qui font intervenir les états de la matière suivants : [solide](#), [liquide](#), [gazeux](#) :

- de solide à liquide : [fusion](#) ;
- de solide à gazeux : [sublimation](#) ;
- de liquide à solide : [solidification](#) ;
- de liquide à gazeux : [vaporisation](#) ;
- de gazeux à solide : [condensation solide](#), [déposition](#) ou sublimation inverse ;
- de gazeux à liquide : [liquéfaction](#) ou [condensation liquide](#).

En [Thermodynamique](#), un terme [spécifique](#) est attribué à chacune des transitions :

- de gazeux à solide : [condensation](#) (exclusivement) ;
- de gazeux à liquide : [liquéfaction](#) (exclusivement).

Voir l'article [Changement d'état](#), ou l'image au format réduit dans le cadre « État de la matière » ici en bas de page<sup>2</sup>.

Article complet à lire sur le site [http://fr.wikipedia.org/wiki/Transition\\_de\\_phase](http://fr.wikipedia.org/wiki/Transition_de_phase)

**Diagramme de phase** - Extrait d'un article de Wikipédia



Cet article **ne cite pas suffisamment ses sources** (février 2008). Si vous connaissez le thème traité, merci d'indiquer les passages à sourcer avec  `{{Référence souhaitée}}` ou, mieux, d'inclure les références utiles en les liant aux **notes de bas de page**. ([Modifier l'article](#))

Un **diagramme de phase** est une [représentation graphique](#) utilisée en [thermodynamique](#) (voir [Phase](#)), généralement à deux ou trois [dimensions](#), représentant les domaines de l'état [physique](#) (ou [phase](#)<sup>note 1</sup>) d'un système ([corps pur](#) ou mélange de corps purs), en fonction de [variables](#), choisies pour faciliter la compréhension des phénomènes étudiés.

Les diagrammes les plus simples concernent un corps pur avec pour variables la [température](#) et la [pression](#) ; les autres variables souvent utilisées sont l'[enthalpie](#), l'[entropie](#), le [volume massique](#), ainsi que la [concentration](#) en masse ou en volume d'un des corps purs constituant un mélange.

Lorsque le système étudié est un mélange de  $n$  corps purs, son état physique est défini par les  $(n-1)$  proportions indépendantes de ses composants, ainsi que par la température et la pression. Ainsi, un diagramme à deux variables ne peut donc être établi qu'en fixant  $(n-1)$  variables du système.

C'est un diagramme associé à un **équilibre** qui ne permet pas de décrire un système dans un état [métastable](#) comme l'eau liquide à une température inférieure à 0 °C sous la pression atmosphérique normale ([surfusion](#)). Début 2009, tous les diagrammes de phases des éléments simples étaient établis sauf celui du bore, qui devrait être rapidement disponible suite à la synthèse réussie d'une nouvelle forme de bore dite « *bore gamma* » (partiellement ionique, mais forme la plus dure et dense du bore)<sup>1</sup>

## Sommaire

- [1 Diagramme d'un corps pur](#)
- [2 Diagramme \(P, V, T\)](#)
- [3 Diagramme binaire et ternaire](#)
  - o [3.1 Diagramme à solution solide unique](#)
  - o [3.2 Composés définis](#)
- [4 Comment établit-on un diagramme de phases ?](#)
- [5 Références](#)
- [6 Notes](#)
- [7 Articles connexes](#)

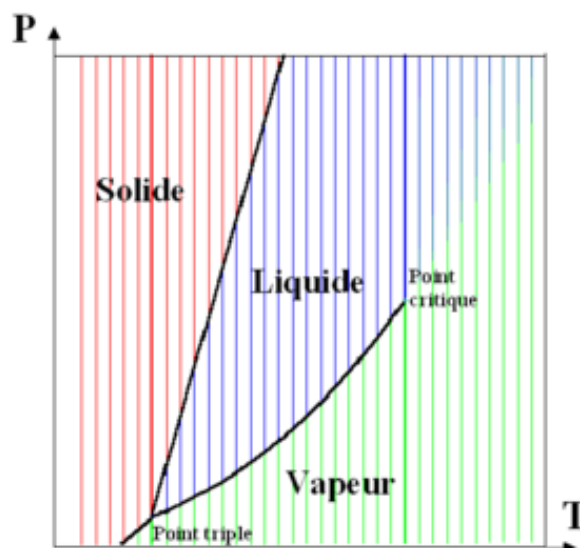
## **Diagramme d'un corps pur** [[modifier](#)]

Le corps pur se présente sous une ou plusieurs de ses phases solides, liquide et gazeuse<sup>note 2</sup>, en fonction des conditions de pression et de température. Généralement, un corps pur existe sous une seule phase pour une pression et une température données, sauf :

- au [point triple](#), où les 3 phases coexistent à une température et une pression données ;
- pour un couple (pression, température) correspondant à un changement d'état (ou [transition de phase](#)) soit :
  - o entre 2 phases solides : transformation entre 2 variétés [allotropiques](#) ;
  - o entre une phase solide et une phase liquide : [fusion](#) - [solidification](#) ;
  - o entre une phase solide et une phase vapeur (gaz) : [sublimation](#) - [condensation](#) ;
  - o entre une phase liquide et une phase vapeur : [vaporisation](#) - [liquéfaction](#) ; la courbe de changement d'état liquide-vapeur s'interrompt en un point appelé [point critique](#), au-delà<sup>note 3</sup> duquel le corps ne présente plus qu'une seule phase [fluide](#), plutôt proche (du point de vue de ses propriétés physiques) d'un gaz<sup>note 4</sup> aux pressions inférieures à la pression critique, plutôt proche d'un liquide aux pressions supérieures à la pression critique.

Lorsque toutes les phases représentées correspondent à des états physiques différents, on parle parfois de diagramme de changement d'état.

En règle générale, les courbes de changement d'état sont croissantes dans le diagramme  $P = f(T)$ . Une exception notable est celle de l'eau, pour laquelle la courbe de [fusion](#) - [solidification](#) est décroissante (ceci implique que la [glace](#) flotte sur l'eau liquide).



Exemple d'un diagramme de phase de corps pur.



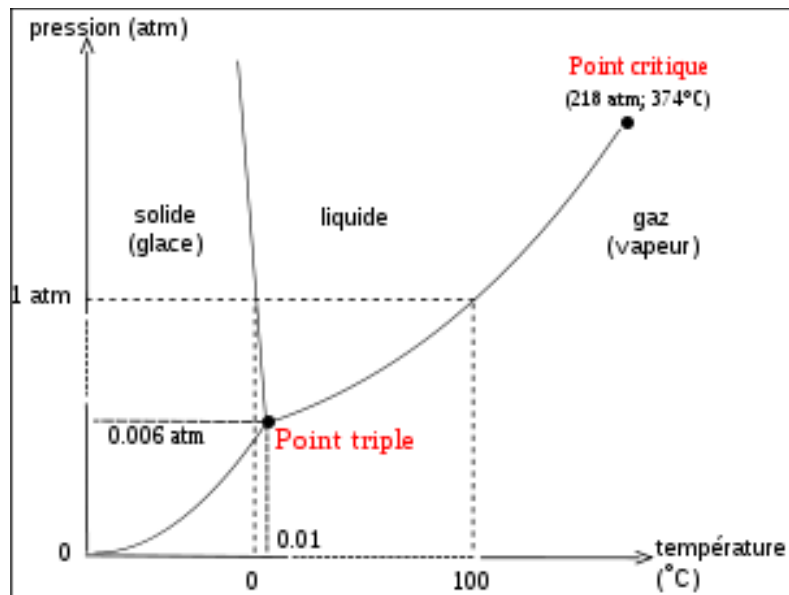


Diagramme de phase de l'eau.

Lire la suite de l'article sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme\\_de\\_phase](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_phase)

### **Traduction, annexe sur l'eau interfaciale et la cellule, définitions et compléments en français :**

Jacques Hallard, Ing. CNAM, consultant indépendant.

Relecture et corrections : Christiane Hallard-Lauffenburger, ex professeure des écoles

Adresse : 585 Chemin du Malpas 13940 Mollégès France

Courriel : [jacques.hallard921@orange.fr](mailto:jacques.hallard921@orange.fr)

Travail dédié à **Françoise Hallard-Bouroulet**, Ingénieur agronome, Montpellier, Docteur de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon [Thèse : Contribution à l'étude de la forme du cyprès méditerranéen : variabilité génétique, architecture et modélisation de la croissance et de la ramification, soutenue le 20 juin 1994]. Anciennement chef de projet HORTISEM, de recherche européenne sur l'amélioration génétique du piment <http://www.ist-world.org/ProjectDetails.aspx?ProjectId=062b1a1f5d53464f8ebd0b445f844936&SourceDatabaseId=9cd97ac2e51045e39c2ad6b86dce1ac2>. Domaines d'interventions professionnelles : Forêts méditerranéennes <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3487117> Expertise internationale Eaux et Assainissement : programmes Toshka en Egypte et INCO-DC en Afrique sub-saharienne <http://nora.nerc.ac.uk/2247/1/N002247CR.pdf> puis Développement des territoires et appui aux collectivités [http://www.una-leader.org/leader/ecriture/upload/leader/cpa/restitutionateliers\\_leaderticenmontagne\\_25oct07.pdf](http://www.una-leader.org/leader/ecriture/upload/leader/cpa/restitutionateliers_leaderticenmontagne_25oct07.pdf) Chef de groupe au service exploitation de la Société du Canal de Provence, Région Provence Alpes Côte-d'Azur, France : gestion et sécurité des réseaux et qualité des eaux distribuées [http://www.canaldemanosque.com/documents/scp\\_rapport\\_fermier\\_2013.pdf](http://www.canaldemanosque.com/documents/scp_rapport_fermier_2013.pdf)  
Fichier : ISIS Biologie Eau [Quantum Coherent Water and Life](#) French version.7 allégée 05/01/2015

---