

L'eau et ses mystères (1)

Manuel Bautista Aranda

L'importance de l'eau dans la vie est une chose tellement évidente qu'il ne faut pas beaucoup l'expliquer. En plus d'être le liquide le plus abondant sur Terre, c'est une sorte d'élixir magique pour la vie. Sans eau, il n'y a pas de vie. Dans le cas concret de l'être humain, la quantité d'eau qu'il a dans son corps représente près de 90 % de son poids total à la naissance. Ce pourcentage diminue progressivement avec l'âge pour se retrouver autour de 60 % à la vieillesse. Un jeune qui pèse 70 kg, par exemple, a dans son corps près de 50 kg d'eau. Et chez certains animaux, ce pourcentage atteint parfois près de 95 % de leur poids.

Mais en outre, l'eau, ce liquide si abondant, inodore, incolore, insipide, de constitution chimique si simple (H_2O) et apparemment si « grossier », a des propriétés très spéciales et, bien que cela paraisse incroyable, elle continue d'être un liquide qui se comporte parfois de manière quelque peu mystérieuse et scientifiquement inexplicable.

Comme le sujet est long, nous allons le traiter en plusieurs chapitres. Dans ce premier chapitre, nous allons nous centrer sur la structure de la molécule d'eau et sur certains des comportements étranges de ce liquide. Dans les chapitres suivants, nous examinerons des thèmes aussi curieux et intéressants que les influences d'origine extraterrestre sur l'eau, la manière dont nous influençons l'eau qui nous entoure, la question de la mémoire de l'eau et l'effet des champs magnétiques sur l'eau.

À propos de la molécule d'eau

Pour commencer, il se peut que le lecteur soit surpris si nous disons qu'actuellement, on ne sait toujours pas comment est exactement la molécule d'eau. On n'a toujours pas trouvé un modèle, une configuration de cette molécule qui permette d'expliquer **tous** les comportements anomaux de l'eau. Cela ne veut pas dire évidemment qu'il n'existe pas de modèles qui expliquent la plupart de ces comportements. Le problème réside dans le fait qu'aucun d'eux ne peut **tous** les expliquer. Ce qui veut dire que ces modèles, bien qu'ils soient bons et utiles dans la pratique, ne reproduisent toujours pas exactement la structure réelle de la molécule d'eau.

Comme les étranges comportements de l'eau et l'énorme importance biologique de ceux-ci se doivent en grande partie à la structure de sa molécule, nous allons essayer de l'expliquer suivant un modèle communément accepté qui, pour cet article, est tout à fait adéquat. L'explication est un peu complexe, mais étant donné son importance, nous allons essayer de le faire, bien que de manière simplifiée.

La figure 1 représente approximativement l'aspect de la molécule d'eau. En rouge, on a l'atome d'oxygène auquel sont unis les deux atomes d'hydrogène. La zone colorée représente l'espace où circulent les électrons et correspond à la taille de la molécule. De manière simplifiée et assez utilisée, on représente la molécule d'eau comme un tétraèdre avec l'atome d'oxygène au centre et les deux atomes d'hydrogène sur deux des sommets du tétraèdre (figure 2).

Vue de loin, la molécule d'eau est électriquement neutre, mais à sa proximité, la situation change. Chaque atome d'hydrogène s'unit avec l'atome d'oxygène en partageant un électron. Mais dans cette union, la répartition de l'électron apporté par l'hydrogène n'est pas équitable ; il passe nettement plus de temps autour du noyau de l'oxygène qu'autour de celui de l'hydrogène, car la masse du premier est 16 fois plus grande que celle du second. Par conséquent, la plupart du temps, la charge positive du proton de l'atome d'hydrogène n'est pas compensée par la charge négative de son électron et la molécule d'eau se trouve être légèrement positive dans cette direction.

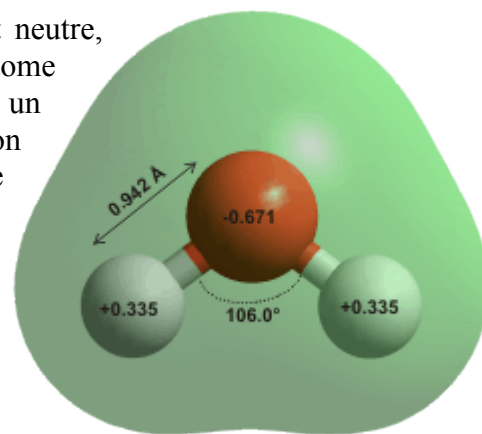


Figure 1. Aspect de la molécule d'eau.

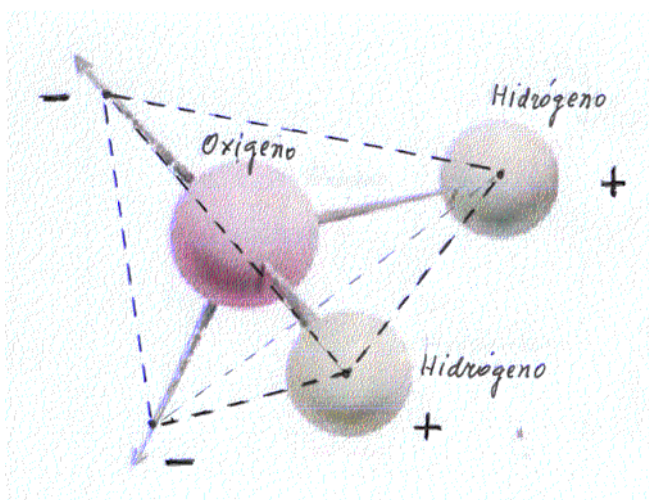


Figure 2. Représentation schématique de la molécule d'eau.

Les deux sommets du tétraèdre occupés par les atomes d'hydrogène présentent alors une certaine charge positive tandis que les deux autres sommets, du fait de « l'excès » d'électrons dans l'atome d'oxygène, présentent une certaine charge négative. Autrement dit, en fonction d'où on la regarde, la molécule d'eau paraît légèrement chargée positivement ou négativement. On dit pour ça que c'est une molécule polaire, qui a deux pôles.

Quand la molécule d'eau est entourée d'autres molécules d'eau, les sommets ayant une charge électrique d'un certain signe tendent à s'unir avec ceux qui sont chargés du signe contraire dans les molécules contiguës, comme le montre la figure 3. Ils se créent entre elles des liaisons de type électrique, appelées liaisons ou ponts hydrogènes, qui sont assez faibles et qu'on peut rompre facilement. De fait, les molécules d'eau, au moyen des ponts hydrogènes, s'organisent habituellement en formant des ensembles complexes qui se rompent et se refont continuellement. La taille et particulièrement les formes que peuvent prendre ces ensembles sont pratiquement illimitées. Et cela pourrait être la base de ce qu'on appelle la mémoire de l'eau, dont nous parlerons plus loin.

Mais le caractère polaire de la molécule d'eau et l'existence des ponts hydrogènes sont extrêmement importants pour expliquer la plupart des comportements étranges de l'eau.

Propriétés « anormales » de l'eau

Martin Chaplin, professeur à la London South Bank University, est sûrement l'une des personnes qui a étudié le plus à fond la structure et le comportement de l'eau. Dans ses

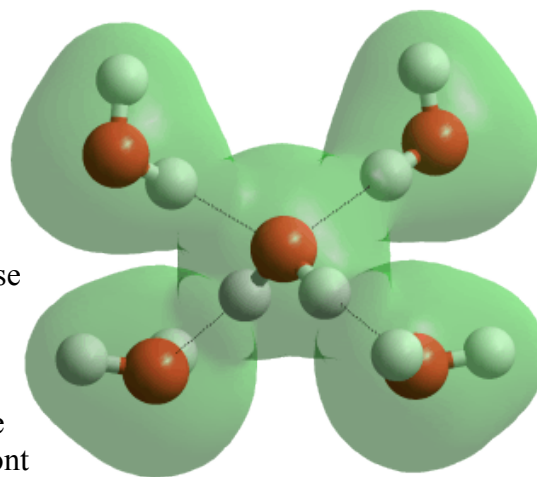


Figure 3. Cinq molécules d'eau unies par des ponts hydrogènes.

publications¹ (auxquelles nous empruntons les figures 1 et 3), il identifie rien moins que 67 propriétés anormales de l'eau, des propriétés qu'on n'espérerait pas en principe étant donné l'apparente simplicité de sa molécule (H_2O) et la manière si différente de se comporter d'autres substances dont le poids moléculaire est semblable à celui de l'eau. Dans les lignes qui suivent, nous allons examiner certaines de ces propriétés anormales, nous limitant uniquement aux plus importantes.

Pour commencer, nous pouvons citer le fait bien connu que la densité de l'eau, lorsqu'on la refroidit, augmente et atteint sa valeur maximale à 4° C. Si on continue de la refroidir, un comportement étrange apparaît : sa densité, contrairement à presque tous les autres liquides², se met à diminuer de telle sorte que la glace qui se forme est 8,3 % moins dense que l'eau liquide et flotte sur elle. Ce fait a beaucoup d'implications. D'emblée, il a une énorme importance pour la vie marine car les eaux profondes restent toujours liquides même si les températures descendent beaucoup et les couches superficielles se congèlent.

Une autre circonstance étrange, c'est que l'eau est liquide dans des conditions normales de pression et de température. D'autres substances dont les molécules sont semblables à celle de l'eau comme le méthane (CH_4), l'acide sulfhydrique (H_2S), le dioxyde de carbone (CO_2), le dioxyde de soufre (SO_2), l'hydrure de tellure (H_2Te) ou l'hydrure de sélénium (H_2Se) sont gazeuses dans ces conditions et il serait normal que l'eau le soit également. Il faut attribuer la cause de cela en partie à la haute valeur de sa tension superficielle³, à cette sorte de peau très subtile qui entoure la surface de l'eau et qui est produite par les ponts hydrogènes dont nous avons parlé avant.

Est également anomal et attribuable aux ponts hydrogènes le fait que l'eau soit la substance à laquelle il faille apporter le plus de chaleur pour la faire entrer en ébullition et à laquelle il faille en extraire le plus pour provoquer sa congélation. Sa chaleur spécifique est également anormalement grande, c'est en effet le liquide qui a besoin de plus de chaleur (excepté l'ammoniaque) pour modifier sa température. Par exemple, pour élever d'un degré la température d'un kilo d'eau, il faut apporter 9 fois plus de calories que pour élever d'un degré un kilo de fer. Pour cette raison, l'eau joue un rôle important chez les êtres vivants, en tant qu'amortisseur des oscillations de la température extérieure, depuis le cytoplasme de la cellule où l'eau représente 70 % de sa masse, jusqu'à la réfrigération du corps à travers l'évaporation de la sueur. Et sur la Terre, à niveau planétaire, les océans sont de grands amortisseurs des oscillations de température entre le jour et la nuit et entre l'hiver et l'été.

Le caractère polaire de la molécule d'eau fait d'elle le liquide qui permet de dissoudre le plus de substances. C'est le dissolvant universel. On appelle hydrophiles les molécules qui se dissolvent dans l'eau et hydrophobes celles qui ne le font pas. Les protéines et l'ADN ont des zones hydrophiles et des zones hydrophobes. Les premières se trouvent à l'extérieur, en contact avec l'eau, tandis que les deuxièmes se trouvent enfermées à l'intérieur, fuyant le contact de l'eau. On croit que l'eau est fondamentale pour la stabilité des longues chaînes d'ADN et pour permettre aux protéines de se plier correctement, une chose indispensable pour qu'elles puissent remplir leur fonction.

Les molécules d'eau, du fait de leur caractère polaire, ont tendance à s'orienter en présence d'un champ électrique et à osciller si ce champ est variable. Ceci explique le réchauffement qui se produit quand une radiation de micro-ondes agit sur l'eau, sur n'importe quelle solution aqueuse ou sur n'importe quel être vivant. C'est la base du fonctionnement des familiers fours à micro-ondes.

¹ Water Structure and Behavior (www.lsbu.ac.uk/water/chaplin.html)

² Cette anomalie se produit également avec le silice, le bismute et le cadmium.

³ La plus haute de tous les liquides communs, dont la seule exception est le mercure.

L'eau a la capacité de se dissocier spontanément en ions ce qui fait que l'eau naturelle est en réalité un mélange d'eau moléculaire (H_2O), d'ions hydroxyles (OH^-) et d'ions hydronium (H_3O^+)⁴. Le nombre de molécules ionisées dans l'eau naturelle est extrêmement bas, à peu près une pour dix millions (10^{-7}). On appelle l'eau dans cet état « eau neutre » ($\text{pH} = 7$)⁵, mais il suffit d'ajouter de petites quantités d'un acide ou d'une base pour que ces niveaux changent rapidement (abaissent ou élèvent son pH). Bien que le niveau d'ionisation de l'eau soit très petit, sa valeur (son pH) a une importance extraordinaire dans les processus vitaux. Les organismes vivants ne supportent pas des variations de pH supérieures à quelques décimales. Par exemple, le pH du sang d'une personne saine est de 7,4 et elle peut avoir de graves problèmes s'il se retrouve au-dessus de 7,7 ou en dessous de 7,3. Une chute de pH jusqu'à 6,8 peut même provoquer la mort.

C'est au faible niveau d'ionisation que l'on doit le fait que l'eau pure soit un très mauvais conducteur d'électricité. Une autre propriété curieuse de l'eau est sa constante diélectrique élevée, à peu près 80 fois celle du vide⁶. Cela veut dire que deux charges électriques dans l'eau sont attirées ou repoussées avec une force 80 fois plus petite que celle avec laquelle elles s'attireraient ou se repousseraient dans le vide.

Mais il y a plus. On sait que l'hydrogène a trois isotopes⁷ : H^1 (l'hydrogène commun ou protium), H^2 ou D (deutérium) et H^3 ou T (tritium) et l'oxygène en a, à son tour, trois autres : O^{16} (l'oxygène commun), O^{17} et O^{18} . Le résultat, c'est que la molécule H_2O peut être formée par n'importe quelle combinaison des isotopes antérieurs, autrement dit, dans l'eau naturel, il pourrait y avoir jusqu'à 18 types différents de molécules d'eau et 15 types d'ions. Il est certain que l'immense majorité des molécules d'eau (99,732 %) sont formées à partir de H^1 et de O^{16} , mais le résultat c'est que la composition isotopique de l'eau dépend de son histoire passée et qu'il n'y a pas deux eaux identiques. Et le doute qui se présente est celui-ci : dans quelle mesure cette petite présence d'autres isotopes de l'eau peut-elle influencer certaines des étranges propriétés que nous citons plus loin ? On sait, par exemple, que l'eau lourde, l'eau avec du deutérium (D_2O), est physiologiquement inerte, à tel point que si nous buvions de cette eau au lieu de l'eau normale, nous serions morts en moins de 24 heures.

Et si les propriétés de l'eau liquide sont étranges, celles de l'eau solide, de la glace, ne le sont pas moins. Ainsi, tout comme l'eau liquide est le grand « ami » de la vie, l'eau solide est son « ennemi ». La structure rigide des molécules d'eau dans les cristaux de glace expulse les impuretés et détruit les cellules⁸. En réalité, il y a beaucoup de types de glace, en fonction des conditions de pression et de température quand elle se forme ; on connaît jusqu'à douze types de glace. Mais un seul, la glace hexagonale, la glace à laquelle nous sommes habitués, se produit naturellement dans les marges de pressions et de températures qui se trouvent à la surface de la terre.

À la liste des 67 propriétés anormales de l'eau que cite M. Chaplin, nous pourrions en ajouter quelques-unes de plus. Des propriétés que nous pourrions qualifier de « subtiles » qui

⁴ Lorsqu'une molécule d'eau se dissocie, il se produit un ion OH^- et un autre H^+ , mais ce dernier réagit presque instantanément avec une autre molécule d'eau et donne lieu à deux nouveaux ions : un H_3O^+ et un OH^- .

⁵ Le pH se définit comme l'opposé du logarithme décimal de la concentration en ions hydronium (H_3O^+). Les dissolutions acides ont un pH inférieur à 7 et les basiques, supérieur à 7.

⁶ La valeur exacte de la constante diélectrique dépend assez bien de la température. Elle vaut 88 à 0° C, 78 à 25° C, 56 à 100° C.

⁷ Les isotopes d'un élément chimique ont le même nombre de protons et d'électrons, mais ils diffèrent quant au nombre de neutrons. Ils ont le même nombre atomique, mais un poids atomique différent.

⁸ Il est intéressant d'observer les mécanismes de défense des microorganismes qui vivent dans les régions arctiques. L'un des plus connus consiste à parvenir à faire descendre le point de congélation en produisant des agents antigels tels que les glycoprotéines ou les sucres.

échappent à toute mesure ou traitement physique ou chimique, qui n'ont pas d'explications scientifiques, mais qui sont détectées par les êtres vivants.

L'eau et l'origine de la vie

Nous disions au début que, sans eau, il n'y avait pas de vie, du moins telle que nous la concevons. Petite parenthèse curieuse, dans l'étude des plus de 500 planètes extrasolaires qui ont été découvertes jusqu'à ce jour, le fait qu'on y trouve les conditions nécessaires pour qu'il puisse exister de l'eau liquide est le critère fondamental qui est appliqué pour voir si l'une d'entre elles pourrait héberger un type de vie. Et en principe, cela dépend de sa distance par rapport à l'étoile autour de laquelle elle tourne.

Mais revenant à notre sujet, à quoi se doit le fait que l'eau soit indispensable pour que la vie puisse exister ? Il est évident que l'eau offre l'environnement idéal pour que puissent avoir lieu les réactions chimiques complexes caractéristiques des êtres vivants, depuis la plus humble bactérie jusqu'à l'être humain lui-même. Mais la fonction de l'eau est-elle seulement de créer l'environnement nécessaire et éventuellement d'apporter ses propres molécules pour la synthèse des composés organiques ? Peut-on penser que l'eau pourrait jouer un rôle plus important dans l'origine de la vie ? L'eau pourrait-elle être quelque chose comme un catalyseur indispensable pour que la vie puisse surgir ?

Nous entrons dans le domaine de la spéculation, mais notre ignorance à propos de la molécule d'eau est si grande que nous ne pouvons rejeter l'idée que cette molécule soit la source qui stimule les processus qui conduisent à la vie.

Nous savons que la molécule d'eau est formée par un atome d'oxygène et deux d'hydrogène, mais savons-nous comment sont en réalité l'atome d'oxygène et celui d'hydrogène ? Limitons-nous pour le moment à ce dernier. L'atome d'hydrogène est le plus simple de tous les atomes. Il n'a qu'un proton, un électron et un immense espace vide entre eux. Nous allons donner quelques chiffres.

La taille de cet atome, exprimée en millimètres, est de 10^{-7} mm. Il est si petit qu'il faudrait 10 millions d'atomes d'hydrogène les uns derrière les autres pour couvrir la distance d'un millimètre. 99,9 % de sa masse est concentrée dans le proton qui constitue le noyau dont la taille est seulement la cent millième partie de la taille de l'atome, autrement dit 10^{-12} mm. Pour vous donner une idée de ce que représentent ces chiffres, nous dirons que, si nous augmentons la taille de l'atome d'hydrogène jusqu'à ce qu'il atteigne la taille d'un grand ballon de 100 mètres de diamètre, son noyau à la même échelle ne serait qu'un minuscule grain d'un millimètre. Et dans le reste de l'espace, à part l'électron, qu'y a-t-il ? Du vide ? N'est-il pas étrange qu'il n'y ait rien ? Serait-il peut-être plein de cette matière noire et invisible qui, d'après les astronomes, abonde dans l'univers bien plus que la matière ordinaire et pourrait-il être justement la cause des propriétés subtiles de l'eau ? Cela n'est, évidemment, qu'une hypothèse, mais pour l'instant, il n'y a pas d'arguments scientifiques qui l'excluent.

Et que se passe-t-il avec le proton ? En 1964, le scientifique nord-américain Murray Gell-Mann présenta l'idée que les protons et les neutrons étaient formés à partir d'autres particules plus petites qu'il appela *quark*. On a défini six types de quarks : *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* et *bottom*. En fonction de cette idée, le proton serait constitué de deux quarks *up* et d'un quark *down*. Malgré les nombreux efforts réalisés, on n'a jamais pu isoler les quarks.

Les idées que nous offre actuellement la chromodynamique quantique sur la constitution du proton sont de plus en plus compliquées et de moins en moins intuitives.

Ainsi, par exemple, R. Klanner⁹ nous dit : *le proton ressemble à une soupe épaisse et bouillonnante de quarks et de gluons dans laquelle ceux-ci apparaissent et disparaissent constamment*. D'un autre côté, K. Rith et A. Schäfer¹⁰ expliquent que les protons *incluent une danse vacillante et compliquée de quarks et d'antiquarks virtuels qui incluent des quarks étranges qui ne font généralement pas partie de la matière ordinaire*. Et ils nous disent également qu'*ils contiennent des particules évanescentes dans une danse incessante qui les fait osciller entre l'existence et le néant*.

En résumé, l'atome d'hydrogène pourrait être beaucoup plus complexe que nous le croyons. L'idée peut paraître étrange. Mais peut-être eût-il été beaucoup plus étrange encore aux biologistes du début du XIX^e siècle si quelqu'un leur avait dit que ces cellules qu'ils voyaient à peine à travers leurs microscopes déficients, ces cellules amorphes presque transparentes et sans aucune structure interne apparente, avaient une complexité qu'ils ne pouvaient pas le moins du monde imaginer et une organisation interne qui était une vraie merveille. Et leur incrédulité aurait été totale si on leur avait dit en outre que chacune des billions de cellules qui composent un être humain contenait, dans leur noyau, dans leurs molécules d'ADN, l'héritage génétique complet de cet être.

Pour terminer, acceptons notre ignorance à propos de la molécule d'eau. Acceptons la possibilité qu'elle soit beaucoup plus complexe que ce que nous pouvons imaginer. Et acceptons que l'eau, ce liquide si courant et si grossier, puisse encore receler beaucoup de mystères.

⁹ *El interior del protón*, Investigación y Ciencia, juin 2001 (NDT: Cet article a été publié en français sous les références suivantes: R. Klanner, *La vie intérieure du proton*, Pour la Science, juin 2001).

¹⁰ *El misterioso espín de los nucleones*, Investigación y Ciencia, septembre 1999 (NDT: Cet article a été publié en français sous les références suivantes: Rith K. et Schäfer A., *Le spin des nucléons*, Pour la Science, août 1999).