

CHAPITRE I

L'EAU DANS L'ENVIRONNEMENT ET SES CARACTERISTIQUES

1. Introduction : H₂O–Biosphère

L'eau est l'élément fondamental du soutien de la vie humaine et de l'existence de la biosphère¹. Elle est à l'origine du maintien de la croissance des populations humaines et de la survie des organismes vivants. Les études sur la pérennité de cette ressource naturelle s'intéressent aux questions des facteurs qui influencent la présence de l'eau au sein de l'environnement et qui peuvent être : la sécheresse, les inondations, les effets potentiels du changement climatique, sur les ressources eau de la planète. Ces études englobent la géomorphologie, l'hydrologie, la chimie et la biologie des lacs, des rivières et des zones humides. La répartition de l'eau citée par Guy Moreels (tableau I.1-).

Tableau I.1- La répartition de l'eau sur la planète

Types	Proportion (%)
Glace polaire	75
Eau dans le sol Hauteur <750 m	11
Eau dans le sol Hauteur >750 m	13,6
Lacs	0,3
Rivières	0,03
Humidité du sol	0,06
Atmosphère	0,035
Volume eau des océans $1350 \cdot 10^6 \text{ Km}^3$	



Répartition de l'eau 

Les écosystèmes d'eau douce ont été gravement détériorés sous l'effet des activités humaines, les concentrations atmosphériques mondiales de CO₂, CH₄ et des NO_x dont les teneurs se sont fortement accrues. Les océans absorbent deux milliards de tonnes de dioxyde de carbone (CO₂) chaque année, ce qui représente l'un des principaux moyens de défense contre le réchauffement de la planète.

¹ La biosphère est la partie de la planète où vivent tous les êtres vivants.

La dégradation de l'environnement et la pénurie d'eau salubre sont des obstacles majeurs au développement durable. Plus de 2,2 millions de personnes, essentiellement dans certaines régions de la planète, meurent chaque année suite à des maladies causées par de mauvaises conditions sanitaires et l'eau insalubre, (source OMS, Organisation, Mondiale de la Santé).

Des études de l'OMS montrent que chaque dollar investi pour améliorer la qualité de l'eau potable et les services d'assainissement peut rapporter un bénéfice économique de 4 à 34 dollars, selon la situation géographique.

En terme d'exploitation des ressources hydriques, environ 70 % des ressources en eau douce disponibles sont utilisées aux fins de l'irrigation en agriculture, néanmoins l'évaporation et le retour de l'eau dans les rivières et les aquifères souterrains ne sont pas toujours inévitables du fait de systèmes d'irrigation inefficaces surtout dans les régions en voie de développement.

2. Les propriétés physico-chimiques de l'eau

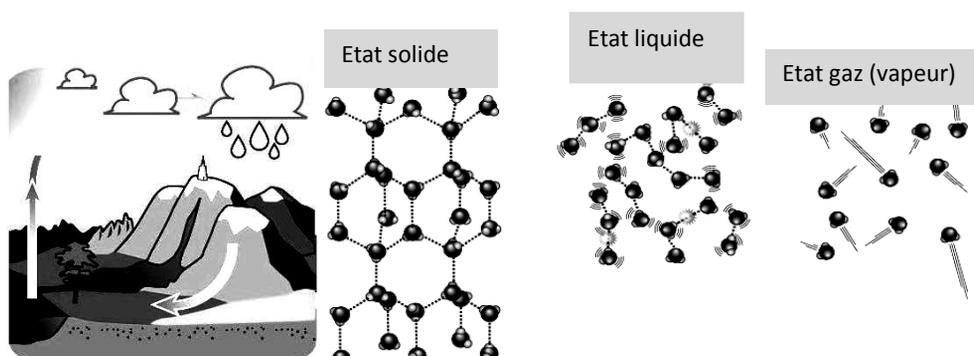


Figure I.1- Structures chimiques des différents états de l'eau

Ces propriétés uniques sont dues à la formation entre les molécules de liaisons chimiques d'hydrogène qui sont qualifiées de très courte durée de vie.

A l'état liquide, les molécules sont en assemblages mobiles, animées de mouvements de translation comme à l'état gazeux.

Le libre parcours moyen des molécules entre deux chocs est très faible (quelques Å, de l'ordre de 1 000 Å pour les gaz dans les conditions normales).

Les principales propriétés physico-chimiques de l'eau sont : sa densité, ses chaleurs de fusion et de vaporisation, sa chaleur massique, sa conductivité calorifique, la tension superficielle, la viscosité² et la constante diélectrique.

² Unité de viscosité : 1 Poiseuille (PI) = 1 kg/m.s = 1,009.10⁻³ Pa.s.

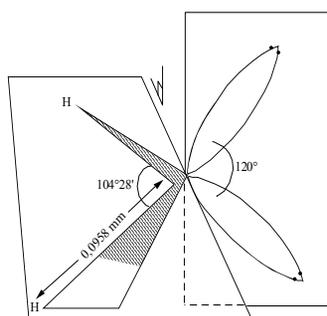


Figure I.2- Structure spatiale de la molécule d'eau

Tableau I.2- quelques paramètres physiques (constantes) de l'eau à l'état liquide

Poids moléculaire	Constante diélectrique	$\Delta H_{\text{(enthalpie)}}$ de vaporisation	Température de fusion	Température d'ébullition
18 Daltons	78,50 Faraday/m	540 cal/g	0°C	100°C
Masse spécifique	Constante cryoscopique	Moment dipolaire	Chaleur spécifique	
1g /cm	-1,86° C	1,85 debye	1cal/g.°C	

La densité de l'eau est maximale à 4°C et, par définition, égale à 1. Entre 0 et 4°C, l'élévation de la température montre que les molécules non liées s'insèrent à l'intérieur des hexagones, entraînant une augmentation de la masse volumique (1000 kg/m³ à 4°C et 910 kg/m³ pour la glace). Pour des températures supérieures à 4°C la densité décroît.

La pression interne est responsable du phénomène de tension superficielle.

Dans l'organisme humain, la teneur en eau des principaux tissus varie de 75 à 80%. L'eau totale représente environ 65 à 70% du poids corporel. L'eau intracellulaire est d'environ 40 % du poids corporel.

Tous les êtres vivants contiennent de l'eau.

2.1 Eau-milieu de dispersion-dissolution

L'eau un est solvant universel qui assure la dispersion d'un soluté dont les molécules n'auraient aucune interaction entre elles (cas d'une solution vraie). Cette dissolution est favorisée par la polarité des atomes du soluté qui sont dits polaires ou hydrophiles.

Les plus cités en biochimie sont : -OH (alcool) ; -C(O)OH (carboxyle) ; R-NH₂ (amine) ; RCONH₂ (amide) ; R-O-R' (éther) ; R-CHO (aldéhyde), C_nH_{2n}O avec n>2 ; R-CO₂(ester).

L'eau ne dissout que les espèces ioniques ou polaires. Dans l'eau, les espèces apolaires précipitent.

C'est la loi de Coulomb qui définit l'intensité de la force électrostatique \vec{F} entre deux ions.

$$\left| \vec{F}^{\text{électrique}} \right|_{\text{intensité}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} q^{(+)} q^{(-)} \frac{1}{r_{+-}^2}, \quad \epsilon_0 = \text{constante diélectrique}$$

La valeur importante de ϵ_r ($\epsilon_r = 80$) rend l'eau dispersante : l'intensité de la force d'attraction entre cations et anions est faible dans l'eau.

Si ϵ_r est faible, les ions restent en interaction forte et forment des paires d'ions.

2.1.1 L'hydratation

L'hydratation (ou la solvatation) est une interaction entre les molécules de solvant et le soluté dissous.

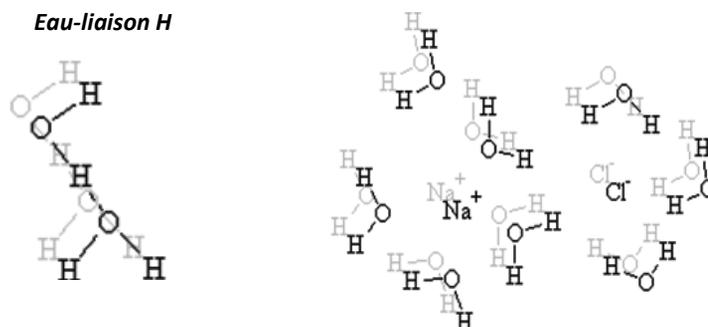
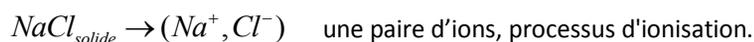


Figure 1.3- Exemple de la dissolution d'un cristal de chlorure de sodium dans l'eau

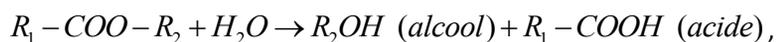
L'existence de la liaison hydrogène dans l'eau fait que ce solvant est protique ou donneur de protons, (solvant protique est l'inverse de solvant aprotique).

2.1.2 L'hydrolyse

L'exemple du chlorure de sodium (NaCl) mis en contact avec l'eau et les réactions de sa dissolution peuvent être décrits par le mécanisme d'hydrolyse suivant :



la réaction d'hydrolyse d'un ester est :



($RCOO^-$ est l'ion carboxylate).

l'inverse de cette réaction est la réaction d'estérification.

Pour des substances organiques telles que les protéines, une *hydrolyse* équivaut à la coupure des liaisons peptidiques entre les différents acides aminés qui les constituent (wikipedia.org/wiki/Hydrolyse).

2.1.3 Pouvoir de cohésion, adhérence et tension superficielle

Les liaisons hydrogènes représentent une force qui maintient ensemble les molécules d'eau et qui lui confère une particularité qui est la cohésion. La cohésion permet à l'eau de résister à la gravitation.

La tension superficielle ou tension de surface ou encore énergie de surface est une force qui existe au niveau de toute *interface* entre deux milieux différents (entre un solide ou un liquide et un gaz). La tension entre des milieux identiques: deux solides, deux liquides, ou également entre un liquide et un solide est généralement appelée la tension *interfaciale*.

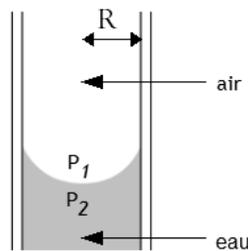


Figure 1.4- Représentation schématique d'un ménisque dans un capillaire

La formation d'une *interface* entre deux milieux nécessite une consommation d'énergie. Cette énergie de surface est égale à l'aire de la surface multipliée par une entité appelée *tension de surface* ou encore *tension superficielle*. L'énergie de surface s'exprime en J/m^2 . Elle s'exprime aussi comme une force par unité de longueur, en N/m .

On note l'énergie de surface :

$$E_{surface} = \gamma S$$

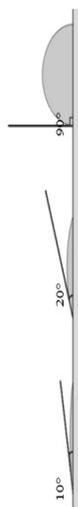
Si l'interface est courbée dans un tube capillaire contenant de l'eau, la pression de l'eau sera différente de celle de l'air (la pression atmosphérique).

La loi de Laplace établit une relation entre la différence de pression et la tension superficielle :

$$\Delta P = P_{concave} - P_{convexe} = \frac{2\gamma}{R}$$

où :

$P_{concave} = P_1$: pression du côté concave du ménisque,



$P_{convexe} = P_2$: pression du côté convexe du ménisque,

γ : tension superficielle de l'eau,

R : rayon du tube capillaire.

Cette notion permet d'introduire le phénomène de *mouillabilité* qui décrit comment un liquide peut s'étaler en présence d'un autre liquide sur un solide.

L'angle de *mouillage* dépend de la tension superficielle.

La loi de Cassie montre que si l'angle de contact est compris entre 90° et 180° , le liquide est hydrophobe c'est-à-dire que le liquide ne mouille pas. Si l'angle de contact mesure entre 10° à 90° , le liquide est hydrophile, le liquide est alors mouillant.

Les détergents sont des *tensioactifs*³ qui diminuent la tension superficielle et provoquent la formation des bulles de savon.

2.2 Réactions d'ionisation

Le processus d'ionisation est dû au moment dipolaire de l'eau.

L'eau est dite liquide ionisant, elle favorise l'ionisation de certaines molécules par rupture de la liaison covalente entre des atomes.

Une solution idéale est une solution où les ions interagissent entre eux de façon identique, d'où la définition d'un gaz parfait comme étant un gaz dans lequel il n'existe pas d'interactions entre les molécules.

Les électrolytes en solution et surtout à des concentrations élevées ne constituent pas des solutions idéales. Cet écart à l'idéalité est lié aux interactions d'origine électrique entre les ions, d'où la correction qui fait appel aux activités comme dans la relation : $(C_A) = \gamma_A [C_A]$, (γ_A est le coefficient d'activité et il est <1 , si γ_A égale à 1 la solution est dite idéale).

Le coefficient d'activité dépend des concentrations de toutes les espèces chimiques en solution d'où la notion de la force ionique μ .

La force ionique est un des principaux facteurs influençant l'activité des ions en solution aqueuse. Elle s'exprime en mol/L et est exprimée par la formule suivante :

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_i c_i z_i^2 \quad \text{où, } c_i \text{ est la concentration de l'ion } i \text{ et } z_i \text{ sa valence}$$

La théorie de Debye-Hückel est un modèle destiné à expliquer l'écart à l'idéalité en solution, à travers le calcul des coefficients d'activité. L'écart à l'idéalité est considéré comme la conséquence de l'interaction électrostatique entre les éléments ioniques.

³ *Composé chimique qui réduit dans un liquide la tension superficielle et augmente les propriétés mouillantes.*

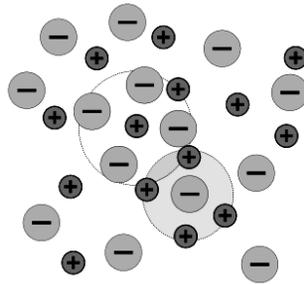


Figure I.5- Représentation de la répartition des ions dans le cas d'un électrolyte

Le chlorure de sodium NaCl est le soluté, l'eau dans laquelle il se dissout est le solvant.

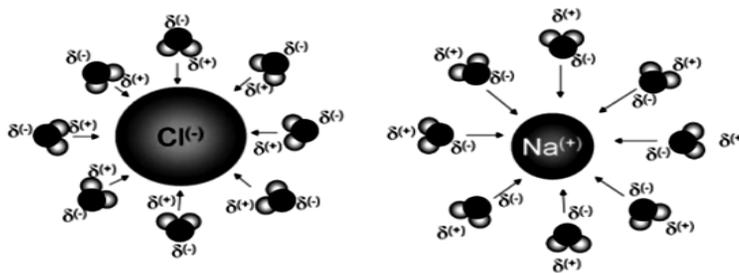


Figure I.6- Hydratation de NaCl → dissolution de NaCl

Le mélange eau et sel est la solution. Comme le solvant est de l'eau, on parle de solution aqueuse. Les ions Na^+ et Cl^- sont solvatés ou hydratés. On dit aussi qu'ils sont aqueux et on les note: $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ et $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$.

La théorie de Debye-Hückel est fondée sur la coexistence ionique dans une solution. Autour d'un ion donné, on trouve un excès d'ions de charge opposée. Ainsi, pour l'équilibre des charges, la charge globale du nuage ionique est l'opposée de celle de l'ion central.

Dans ce cas, 5 hypothèses sont considérées (*wikipedia*):

- ⊕ Les ions sont considérés comme des charges ponctuelles indéformables,
- ⊕ On ne considère que des électrolytes forts, quelle que soit la concentration,
- ⊕ Les seules forces d'interactions considérées sont de nature électrostatique, les interactions de Van der Waals sont négligées,
- ⊕ Le solvant est considéré comme un fluide de constante diélectrique uniforme et égale à celle du solvant pur,
- ⊕ L'énergie d'agitation thermique est grande devant celle issue des interactions électrostatiques.

Les coefficients d'activité se déduisent alors par une relation du type :

$$\log(\gamma_A) = \text{fonction}(\mu) = f(\mu),$$

La fonction $f(\mu)$ est variable suivant le domaine d'application tel que celui de la valeur de la force ionique.

Les équations d'équilibre (loi d'action de masse), restent valables en introduisant les activités à la place des concentrations.

Legrand et Poirier proposent le modèle suivant :

$$\log(\gamma_A) = -Dz^2\varepsilon \quad \text{où} \quad \varepsilon = \frac{\mu^{1/2}}{1 + 1,4\mu^{1/2}}$$

Cette estimation est valable pour des températures $T \leq 60^\circ\text{C}$ et pour des forces ioniques dont les valeurs sont $\mu < 0,1$ mol/L.

Pour des eaux de minéralisation moyenne on pourra supposer que ε est égal à environ 0,1.

Domaine d'application

Calculer la force ionique d'une solution obtenue en mélangeant 50 ml d'acide chlorhydrique à 0,01 mol/L et 75 cm³ de sulfate de sodium à 0,71 gramme de sel par litre.

Déterminer l'activité moyenne du sulfate de sodium dans cette solution.

Données : masse atomique Na = 23 ; S = 32 ; O = 16

3. Les propriétés biologiques de l'eau

Ces propriétés mettent en évidence le rôle de l'eau dans la *Vie-Biosphère* et dans tous les fonctionnements des organismes vivants. L'eau est le solvant de la vie, car tout ce qui est vivant requière de l'eau et tous les organismes sont des systèmes chimiques en phase aqueuse (*Bertrand Toussaint*). Elle représente de 60 à 95% de la masse des cellules et des tissus.

Une molécule biologique soluble dans un milieu aqueux a ses groupes polaires (ou hydrophiles) liés à l'eau par des liaisons hydrogène. Ces molécules d'eau liées entourent la molécule biologique formant une couronne appelée eau de solvatation ou eau liée, on dit que la molécule est hydratée.

L'eau dans les cellules biologiques est plus ou moins gélifiée ou plus ou moins solide en fonction de sa quantité et de la quantité des composants dans la cellule.

a- Molécules polaires ou hydrophiles

Ces molécules sont essentiellement formées de groupes polaires et sont donc complètement solubles dans l'eau.

b- Molécules apolaires ou hydrophobes

Ces molécules ne portent pas de groupes polaires, elles sont souvent formées de chaînes aliphatiques ou cycles carbonés, elles sont insolubles dans l'eau et solubles dans des solvants apolaires (acétone, toluène ou benzène).

c- Molécules amphi polaires ou amphiphiles