

I.1. Introduction

Dans tout l'univers, il y a une molécule que l'homme recherche avidement, car sa découverte dans l'atmosphère d'une planète lointaine libérerait aussitôt les rêves les plus fous de l'humanité. Cette molécule, un modèle simple triangulaire la représente aisément avec la particularité d'un angle interatomique de 105° , dû à l'électro-négativité de deux de ses pôles, au lieu de 90° pour des liaisons strictement covalentes. Elle est caractérisée par un moment électrique mis en évidence par ses propriétés physiques et électriques.

Enfin, sa formule peut s'écrire de façon très simple: H_2O , l'eau. Derrière ce mot, s'impose une image, née des derniers voyages spatiaux, celle d'une planète bleue: la Terre. L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Elle constitue l'hydrosphère, il recouvre 72% de la surface de la terre.

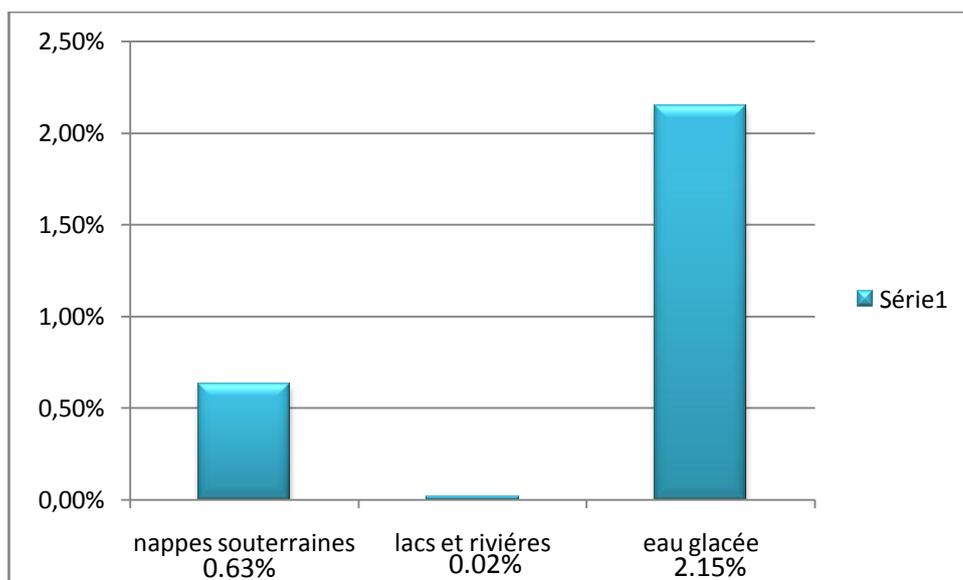


Figure (I-1) : La distribution d'eau douce dans la terre.

A l'heure actuelle, l'utilisation globale de l'eau, en additionnant les usages domestiques, industriels et agricoles, représente le chiffre impressionnant de 250 m^3 par an et par habitant. Il faut la traiter que ce soit pour produire une eau propre à la consommation ou à des usages spécifiques industriels ou pour limiter les rejets de pollution dans le milieu naturel [1]. Son cycle est présenté par la figure (I-2).

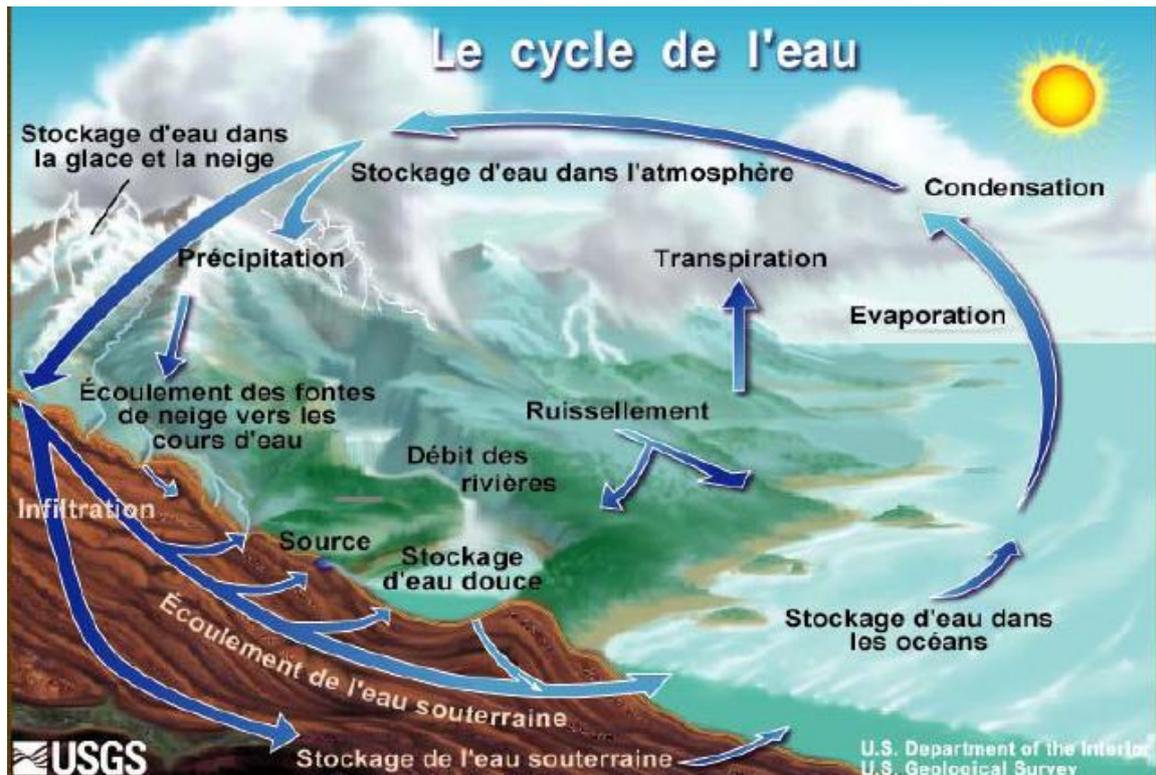


Figure (I-2) : cycle de l'eau [2].

Lors des précipitations, l'eau ruisselle ou s'infiltrate et se charge en composants des sols et des roches mères. Ceci donne une « identité de base ». Ainsi, elle peut acquérir des sels minéraux en grande quantité (calcium, magnésium, sulfates...).

D'autres éléments liés à l'activité de l'homme peuvent être entraînés (nitrates, matières organiques, pesticides, micro-organismes...). La nature et l'occupation des sols jouent donc un rôle prépondérant.

L'eau contient des substances ou des micro-organismes qui par leur nature et leur concentration peuvent être indispensables, acceptables, indésirables, voire toxiques ou dangereux. L'eau prélevée dans le milieu naturel n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine. Elle doit subir des traitements pour pouvoir être consommée sans danger par l'ensemble de la population.

Océans	1 350 000 000 km³
Eaux continentales	35 976 700 km³
Glaciers	27 500 000 km³
Eaux souterraines	8 200 000 km³
Mers intérieures	105 000 km³
Lacs d'eau douce	100 000 km³
Humidité des sols	70 000 km³
Rivières	1 700 km³
Atmosphère (humidité de l'air)	13 000 km³
Biosphère (cellules vivantes)	1 100 km³
Eaux souterraines de la croûte terrestre	pas d'estimation fiable

Tableau (I-1): Les stocks d'eau [3].

I.1.1. Physique de l'eau

I.1.1.1. Les trois états

La structure de l'eau dépend de son état physique. L'état gazeux (vapeur) correspond exactement à la formule H₂O et en particulier au modèle angulaire (figure (I-3)).

A l'état solide, l'arrangement élémentaire consiste en une molécule d'eau centrale et quatre périphériques, l'ensemble affectant la forme d'un tétraèdre (figure (I-4)).

L'étude des variations cristallographiques, grâce au spectre Raman en particulier, permet de comprendre le passage de l'état liquide à partir de la constitution caverneuse de la glace.

A l'état liquide, il y a association de plusieurs molécules par des liaisons particulières dites liaisons hydrogène, chaque atome d'hydrogène d'une molécule d'eau étant lié à l'atome d'oxygène de la molécule voisine. Dans l'espace, la structure est tétraédrique.

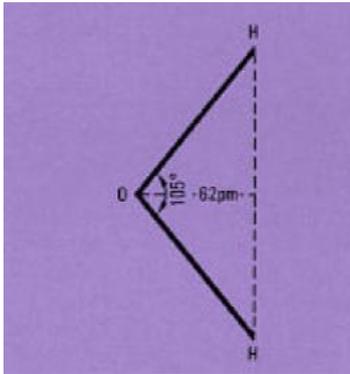


Figure (I-3) : Structure de l'eau à l'état

Vapeur.

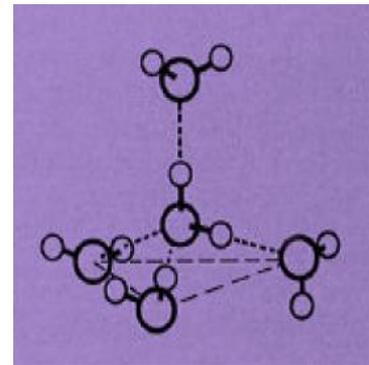


Figure (I-4): Structure tétraédrique

De L'eau à l'état solide.

I.1.2.2. Propriétés physiques

Les propriétés physiques les plus intéressantes pour le traitement de l'eau sont les suivantes :

I.1.1.2.1. Masse volumique

Par tassement de l'édifice moléculaire, la masse volumique varie avec la température et la pression.

Pour l'eau pure, cette variation est la suivante :

Température (T°C)	Masse volumique Kg.dm ⁻³
0	0.99987
4	1.00000
10	0.99973
15	0.99913
20	0.99828
25	0.99707
30	0.99567
100	0.95838

Tableau (I-2) : Variation de la masse volumique en fonction de la température.

Aux pressions rencontrées en pratique hydraulique, l'eau est considérée comme un fluide incompressible. Mais, en fait, c'est un fluide élastique: son volume décroît d'environ 0,048 % chaque fois que la pression augmente d'une atmosphère.

L'eau de mer, de salinité 35 g.l⁻¹, a une masse volumique moyenne de 1,0281 kg.l⁻¹ à 0 °C; une variation de salinité de 1 g.l⁻¹ fait varier la masse volumique de 0,0008 kg.l⁻¹.

I.1.2.1.2. Propriétés thermiques

a) Chaleur massique: 4,18 kJ/kg. °C (1 kcal/kg. °C) à 0°C. Elle varie avec la température en présentant un minimum à + 35 °C.

b) Les chaleurs latentes de transformation sont pour la fusion de 330 kJ. Kg⁻¹ (ou 79 kcal.kg⁻¹) et pour la vaporisation 2250 kJ.kg⁻¹ (ou 539 Kcal.kg⁻¹) à la pression normale et à 100 °C.

L'importance de la chaleur massique et de la chaleur latente de vaporisation fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur.

I.1.2.1.3. Viscosité

C'est la propriété qu'a un liquide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes, soit globaux, comme l'écoulement. Elle est à la base des pertes de charge et joue donc un rôle important en traitement d'eau. Elle diminue lorsque la température croît.

Température (T°C)	Viscosité dynamique (mPa.s)
0	1.797
5	1.523
10	1.301
15	1.138
20	1.007
25	0.895
30	0.800
35	0.723

Tableau (I-3) : Viscosité en fonction de différentes températures

Par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous; l'eau de mer est donc nettement plus visqueuse que l'eau de rivière

Salinité en ion Cl⁻ en g.l⁻¹	Viscosité dynamique à 20°C en (mPa.s)
0	1.007
4	1.021
8	1.035
12	1.052
16	1.068
20	1.085

Tableau (I-4) : La viscosité du l'eau salinité en ions Cl⁻.

La pression agit d'une façon tout à fait particulière sur la viscosité absolue de l'eau. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée rend l'eau moins visqueuse aux basses températures: elle écrase en quelque sorte son organisation moléculaire.

Lorsque la pression continue à croître, l'eau reprend une structure de liquide dépourvu de contrainte interne et suit la règle générale, à savoir que la viscosité croît avec la pression.

I.1.1.2.4. Tension superficielle

Elle caractérise une propriété des interfaces (surfaces limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface.

Elle est telle qu'elle provoque une ascension capillaire de 15 cm à 18 °C dans un tube de 0,1 mm de diamètre.

La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température.

Température (T°C)	Tension superficielle (10 ⁻³ N.m ⁻¹)
0	75.60
10	74.22
20	72.75
30	71.18
40	69.56
50	67.91
60	66.18
70	64.4
80	62.60
100	58.9

Tableau (I-5) : La diminution de la tension superficielle avec l'augmentation de la température.

I.1.1.2.5. Pression osmotique

La pression osmotique traduit un phénomène qui s'établit entre des phases liquides de concentrations différentes séparées par une membrane semi-perméable.

Une équation simple relie pression osmotique et concentration

$$P = ACRT$$

[I-1]

AC : Différence de concentration en mol.m⁻³.

R : Constante des gaz parfaits 8,314 J/mol.K.

T : Température en Kelvin.

P : Pression osmotique en Pa.

Exemple :

L'eau de mer à 35 g.l⁻¹ en NaCl à 15°C crée une pression osmotique égale à 14,38 X 10⁵ Pa.

I.1.1.2.6. Propriétés électriques

a) constante diélectrique: la constante diélectrique de l'eau, de l'ordre de 80 Farad Stéradian par mètre, est l'une des plus élevées que l'on connaisse; c'est pourquoi l'eau possède un pouvoir ionisant très important,

b) Conductivité électrique de l'eau: l'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 microsiemens par mètre à 20 °C (correspondant à une résistivité de 23,8 mégohm-centimètre). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température.

I.1.1.2.7. Propriétés optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine.

L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse.

Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence, l'efficacité des traitements d'épuration.

1.1.1.3. États des impuretés dans l'eau

L'eau rencontrée dans la nature, et, a fortiori, celle qui fait l'objet d'un traitement, n'est jamais pure. Les impuretés qu'elle renferme, sous les trois états: solide, liquide ou gazeux, peuvent être caractérisées par la taille qu'elles prennent en solution dans l'eau (figure (I-5)).

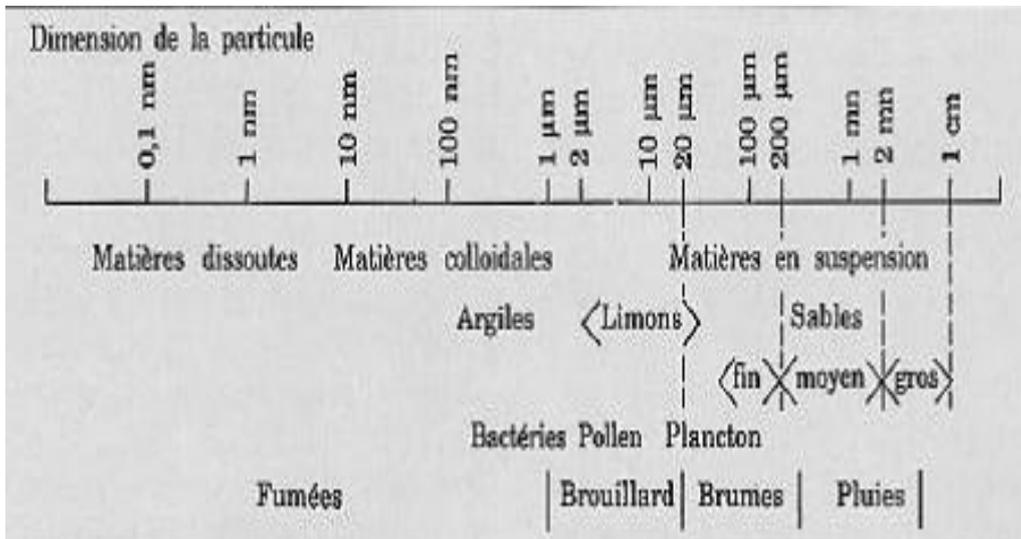


Figure (I-5) : dimension de diverses particules.

I.1.2. Chimie de l'eau

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ.mol^{-1} (58 kcal.mol^{-1}), est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.

I.1.2.1. L'eau solvant

Dissoudre un corps, c'est détruire sa cohésion, laquelle est due à des forces électrostatiques ou coulombiennes qui peuvent être :

-Interatomiques

Fortes liaisons chimiques: liaisons de covalence (entre atomes), liaisons d'électrovalence ou ioniques (atome - électrons).

-Intermoléculaires

Liens de cohésion entre molécules (liaisons hydrogène).

- **Des forces attractives faibles**, (London, Van der Waals), qui assurent la liaison générale de l'ensemble.

L'attraction hydratante de l'eau (molécule bipolaire) revient à détruire complètement ou partiellement (en commençant par les plus faibles) les divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec ses molécules propres, et à forger de nouvelles structures: il se produit une véritable réaction chimique (solvatation). Une solvatation complète est une dissolution.

I.1.2.1.1.Solubilité des diverses phases

a) Cas des gaz

La solubilité des gaz obéit aux lois de Henry.

A titre d'exemple à 10 °C, la solubilité des principaux gaz sous une pression de gaz pur égale à 10^2 kPa (1bar), sont:

Gaz	Solubilité mg.l ⁻¹
N ₂	23.2
O ₂	54.3
CO ₂	2318
H ₂ S	5112
CH ₄	32.5
H ₂	1.6

Tableau (I-6) : La solubilité des principaux gaz.

Les anhydrides (CO₂, SO₂) et divers acides volatils (HCl...) se dissolvent, puis se combinent. Leur coefficient de solubilité est beaucoup plus important que ceux des autres gaz. L'oxygène est plus soluble que l'azote les gaz dissous extraits d'une eau est plus riche en oxygène que l'atmosphère initiale dont ils proviennent

b) Cas des liquides

La molécule d'eau étant polaire, la solubilité d'un liquide dans l'eau dépend de la polarité des molécules du liquide considéré. Par exemple, les molécules qui comprennent des groupes

OH^- (exemple: l'alcool, les sucres), SH^- , NH_2^- étant très polaires, sont très solubles dans l'eau alors que d'autres liquides (les hydrocarbures, le tétrachlorure de carbone, les huiles et les graisses, etc.) non polaires, sont très peu solubles.

Il peut y avoir miscibilité partielle: par exemple, deux substances ne sont miscibles qu'au-dessus d'une température critique (température supérieure à 63,5 °C pour le mélange eau-phénol), ou au-dessous d'une limite inférieure (la triméthylamine n'est soluble en toutes proportions qu'en-dessous de 18,5 °C) ou entre deux températures critiques (le système eau-nicotine).

I.1.2.1.2. Hydrophilisation

Un même corps peut présenter des solubilités différentes vis -à-vis de divers solvants: par exemple le chlorure de sodium est beaucoup plus soluble dans l'eau que dans l'alcool, tandis que la paraffine est soluble dans le benzène et ne l'est pas dans l'eau.

La solubilité dans l'eau dépend de la nature du corps ou tout au moins de certains de ses groupements constitutifs ; on est ainsi amené à classer les groupements caractéristiques en hydrophiles ($\text{OH-CO-NH}_2\dots$) ou hydrophobes ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}_6\text{H}_5$).

I.1.2.1.2.1. Perte d'hydrophilie

L'intermédiaire peut rompre le lien entre le solvant et le corps dissous, dispersé ou mouillé. Selon les cas, cet agent s'appellera précipitant, coagulant, flocculant, épaisissant, déprimant (du mouillage).

Cette rupture peut être le résultat d'une action chimique: perte d'ions OH^- ou de groupes ionisés. L'intermédiaire peut détruire le lien de cohésion semihydrophile en neutralisant la partie hydrophile ou en captant la partie hydrophobe à la surface, soit de bulles d'air (flottation), soit d'un adsorbant insoluble plus ou moins hydrophile.

La rupture peut être le résultat d'une neutralisation des forces électrostatiques (action des cations polyvalents et des polyélectrolytes ioniques).

I.1.2.1.3. Concentration et activité

Les rapports entre soluté et solvant peuvent être exprimés de plusieurs façons

- **fraction molaire**: rapport du nombre de moles du soluté au nombre de moles total (solvant + soluté),

- **molarité**: nombre de moles dissoutes dans un litre de solution.

Les molécules d'un soluté se comportent dans le solvant comme le ferait un gaz dans un autre, et l'on a effectivement constaté qu'à très grande dilution du soluté, la loi des gaz parfaits s'appliquait correctement. Quand la concentration devient notable, les molécules dissoutes agissent moins que ne le ferait le même nombre de molécules de gaz parfait. On remplace la concentration (c) par l'activité [a].

$$[a] = f(c) \quad [I-2]$$

f : est appelé coefficient d'activité et tend vers 1 quand la solution est très diluée.

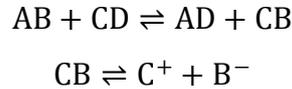
I.1.2.2. Ionisation

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cations). Le corps dissous est appelé électrolyte; il favorise le passage du courant électrique.



Lorsque plusieurs électrolytes se trouvent dans une même solution, chacun se dissocie dans une certaine proportion et les ions libérés peuvent se combiner entre eux pour former des composés nouveaux. Si l'on dissout, par exemple, deux composés AB et CD, on trouvera en solution des molécules AB, CD, AD et CB en équilibre avec les ions A^+ , B^- , C^+ et D^- .

Cet équilibre peut se modifier (loi de Le Chatelier) dans la mesure où il se forme des composés insolubles, des complexes ou des gaz. Si, par exemple, le composé AD est insoluble, l'équilibre est presque totalement déplacé vers la droite, selon la réaction :



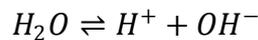
Certains acides ou bases, même en solution relativement concentrée, sont entièrement dissociés. On les appelle électrolytes forts.



D'autres corps, comme l'acide acétique CH_3COOH , ne sont que partiellement dissociés en solution. Ce sont les électrolytes faibles.

On distingue l'acidité totale qui comprend tous les ions H^+ possibles, et l'acidité libre qui comprend les ions H^+ dissociés.

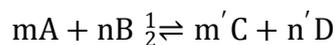
L'eau elle-même est partiellement dissociée en ions suivant la réaction réversible



Ainsi, dans l'eau, on trouve à la fois des molécules H_2O et des ions OH^- (ion hydroxyde) et H^+ (sous forme hydratée H_3O^+ appelé ion hydronium).

a) Loi d'action de masse

Soit une réaction chimique à l'équilibre



La vitesse de réaction dans le sens 1 est donnée par la relation :

$$V_1 = K_1[A]^m[B]^n \quad \text{[I-3]}$$

La vitesse dans le sens 2 est :

$$V_2 = K_2 [C]^{m'} [D]^{n'} \quad \text{[I-4]}$$

[A], [B], [C] et [D] représentant les activités des composés en solution.

A l'équilibre $V_1 = V_2$, d'où

$$K_1 [A]^m [B]^n = K_2 [C]^{m'} [D]^{n'} \quad \text{[I-5]}$$

$$\frac{[A]^m [B]^n}{[C]^{m'} [D]^{n'}} = \frac{K_2}{K_1} = K \quad \text{[I-6]}$$

C'est la loi d'action de masse. K est appelé constante de dissociation thermodynamique.

b) Application de la loi d'action de masse à l'eau: notion de pH

Elle s'écrit, en supposant les coefficients d'activité ionique égaux à 1:

$$\frac{(\text{H}^+)(\text{OH}^-)}{\text{H}_2\text{O}} = K \quad \text{[I-7]}$$

La dissociation étant toujours faible, la concentration des molécules d'eau est pratiquement constante et on peut écrire $(\text{H}^+) [\text{OH}^-] = K_e$.

La constante de dissociation (ou d'ionisation) de l'eau est de l'ordre de $10^{-14} (\text{mol.l}^{-1})^2$ à 23 °C.

Elle varie en fonction de la température.

Température	Constante d'ionisation $K_e 10^{14}$	p K_e
0	0.12	14.93
18	0.59	14.23
25	1.04	13.98
50	5.66	13.25
100	58.5	12.24

Tableau (I-7) : La variation de la température en fonction de K_e .

Dans l'eau pure, on a $(H^+) = (OH^-) = 10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$.

On utilise par convention l'exposant de la concentration en ions H^+ ou pH :

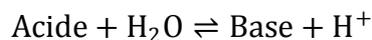
$$\text{pH} = \text{colog} (H^+) \quad [\text{I-8}]$$

Le pH se mesure à l'aide d'indicateurs colorés ou, mieux, par une méthode électrométrique (pH mètre à électrode verre).

On appelle milieu acide une solution dans laquelle (H^+) est supérieur à $10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$ ($\text{pH} < 7$), milieu basique une solution où (H^+) est inférieur à $10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$ ($\text{pH} > 7$).

-Force des acides et des bases en solution aqueuse

Un acide est un corps capable de céder des protons, c'est-à-dire des ions H^+ . Une base est un corps capable de fixer ces protons. Il y a donc, en solution aqueuse, existence d'un couple acide base défini par l'équilibre suivant :



En appliquant la loi d'action de masse et en considérant la concentration en molécules d' H_2O comme constante, on a:

$$\frac{[\text{Base}][\text{H}^+]}{[\text{Acide}]} = K_A \text{ et } \text{p}K_A = \text{colog}K_A \quad [\text{I-9}]$$

K_A ainsi défini est appelé **constante d'affinité** du couple acide base.

Un acide est d'autant plus fort qu'il donne dans l'eau plus d'ions H^+ , c'est-à-dire que K_A est grand ou $\text{p}K_A$ plus petit. Une base est d'autant plus forte que K_A est plus petit.

Ainsi, l'ion ammonium NH_4^+ est un acide faible où $\text{p}K_A = 9,2$. La base correspondante NH_4OH est une base assez forte.

Les notions de $\text{p}K_A$ permettent le calcul du pH des mélanges de solutions d'acide, de base et de sels correspondantes

- le pH d'une solution d'un acide à la concentration totale c est

$$\text{pH} = 1/2 \text{p}K_A - 1/2 \log c \quad [\text{I-10}]$$

- Le pH d'une solution d'une base est $\text{pH} = 7 + 1/2 \text{p}K_A + 1/2 \log c$

- le pH d'une solution d'un sel est $\text{pH} = 1/2 \text{p}K_1 + 1/2 \text{p}K_2$, K_1 et K_2 étant les constantes d'affinité de l'acide et de la base correspondantes.

c) Solution tampon

Dans le cas du mélange d'un acide de concentration (A) et de la base correspondante de concentration [B], si on a $[A] = [B]$, cette solution est dite tampon.

Exemple: acide acétique - acétate

Une solution tampon est une solution dont le pH varie peu, selon que l'on ajoute ou que l'on retire des ions H^+ . Ces solutions sont intéressantes lorsqu'on a besoin qu'une réaction se fasse à pH constant. Les acétates, les phtalates acides et les phosphates monopotassiques servent de base à la confection d'une gamme de solutions tampons.

d) Solubilité des composés peu solubles

-Produit de solubilité

La condition d'équilibre ionique d'un corps peu ou pas soluble est :

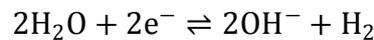
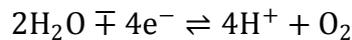


$$[A^-][C^+] = K_S \quad \text{[I-11]}$$

K_S ou produit de solubilité est constant pour une température et une force ionique données de la solution. La valeur de K_S est d'autant plus petite que le corps est moins soluble. Pour le carbonate de calcium soluble à raison de 12 mg.l⁻¹, le produit de solubilité K_S égale 10^{-8,32} (mol.l⁻¹)². Par analogie avec le pH on écrit $pK_S = \text{colog } 10^{-8,32} = 8,32$

I.1.2.3.Oxydo-réduction

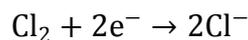
L'eau peut participer, suivant les conditions expérimentales, à des réactions d'oxydoréduction comme réactions possibles :



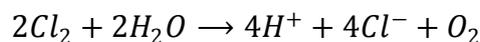
Dans le premier cas, l'eau est **donneur** d'électrons; elle est **réductrice**: l'accepteur d'électrons est un oxydant. En présence de l'eau un oxydant libère de l'oxygène. Dans le deuxième cas, l'eau est un **accepteur** d'électrons; elle est **oxydante**: le donneur d'électrons est un réducteur. En présence de l'eau, un réducteur libère de l'hydrogène.

Mais les réactions sont très lentes en l'absence de catalyseurs et l'on peut en général négliger l'action de l'eau du point de vue oxydo-réduction.

Toutefois, les oxydants ou réducteurs très forts réagissent sur l'eau avec une vitesse notable; par exemple, le chlore passe facilement à l'état d'anion Cl⁻ :

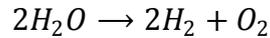


Avec l'eau



Avec dégagement d'oxygène et acidification du milieu.

L'eau peut se décomposer en oxygène et hydrogène selon la relation



La neutralité oxydo-réductrice correspond à l'égalité des pressions d'oxygène et d'hydrogène. Elle correspond à une pression p_{H_2} égale à 10^{-22} Pa.

La notion de potentiel d'oxydo-réduction permet de classer par rapport à l'hydrogène et donc entre eux les divers oxydants et réducteurs [1].

I.2. Les écosystèmes aquatiques

L'eau est une ressource indispensable aux activités humaines mais elle constitue également un lieu de vie privilégié.

I.2.1. Les différents écosystèmes aquatiques

Le terme d'écosystème aquatique recouvre une grande diversité de milieux, tous caractérisés par l'omniprésence de l'eau (douce ou salée, vive ou lente) comme tous les écosystèmes, ce sont des ensembles environnementaux structurés dans lesquels se produisent des échanges de matière et d'énergie dus aux interactions entre les organismes vivants (biocénose) et leur habitat (biotope).

I.2.1.1. écosystème lentiques et lotiques

Les écosystèmes aquatiques en eau douce peuvent se classer en deux grandes catégories, l'écosystème lentique (eaux stagnantes) et les écosystèmes lotiques (eaux courantes).

Les écosystèmes lentiques se distinguent les uns des autres selon leur taille et leur profondeur, on trouve ainsi des anars, des étangs et des lacs. Malgré leurs affluents et confluent ces systèmes restent relativement fermés à la différence des eaux courantes.

Les eaux souterraines et les nappes phréatique alimentées par infiltration de l'eau dans les sols ou du fait de la proximité d'un cours d'eau, connaissent, quant à elles, des conditions biotiques extrêmes (pauvreté en sels minéraux, absence de lumière...). Enfin les zones humides sont des zones d'eaux stagnantes particulièrement sensibles qui possèdent une faune et une flore riche et généralement thermique.

Les écosystèmes lotiques forment des milieux ouverts étroitement liés aux écosystèmes terrestres environnants, les caractéristiques principales des cours d'eau (largeur, quantité d'eau, courant) permettent de distinguer les ruisseaux, des rivières et des fleuves.

I.2.1.2. Compartiment biotique des écosystèmes aquatiques

La biocénose des écosystèmes aquatiques est très diverse puisque, au sein d'un même écosystème, différentes zones de peuplement apparaissent en lieu étroit avec les conditions physiques du milieu (la profondeur et la luminosité dans les lacs, le courant dans les cours d'eau) [4].

D'une manière générale, le développement des êtres vivants est dépendant de la croissance des végétaux qui, grâce à la photosynthèse, peuvent produire leur matière organique à partir des matières minérales du milieu et du CO₂ atmosphérique en utilisant l'énergie lumineuse. Les microalgues ou phytoplancton appartiennent à ce groupe des producteurs primaires et servent de nourriture aux herbivores (le zooplancton) qui alimentent à leur tour les carnivores. Une telle chaîne trophique peut s'illustrer sous forme de la pyramide écologique de la figure (I-9).

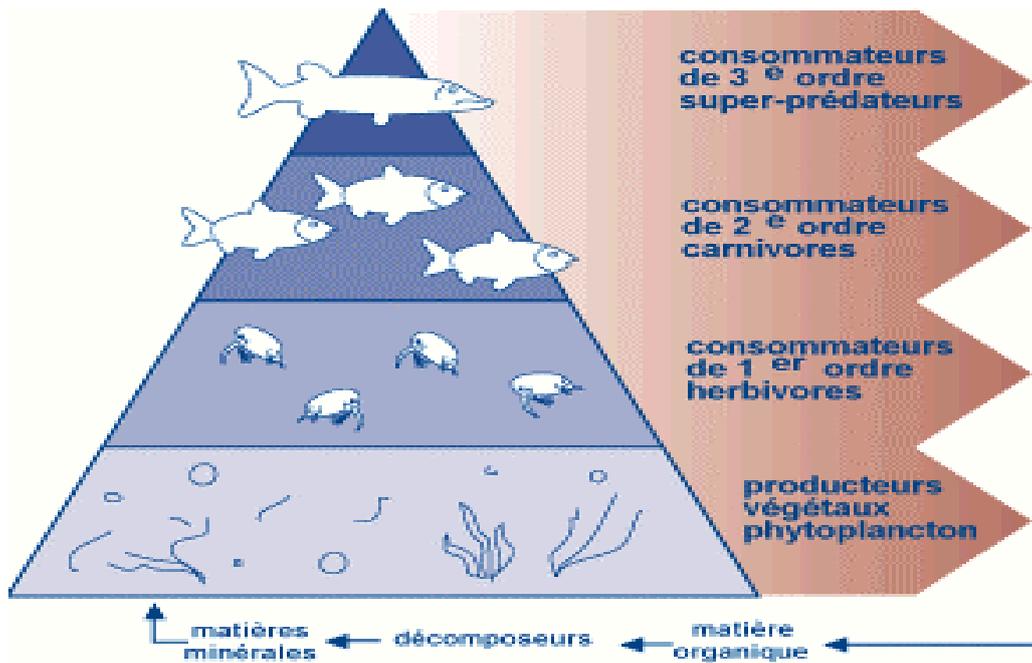


Figure (I-7) : Pyramide écologique d'un écosystème aquatique [5].

Dans un écosystème sain, les populations sont nécessairement plus nombreuses aux niveaux inférieurs que chez les prédateurs, ce qui leur permet de se renouveler normalement. Enfin, le recyclage de matière organique se fait grâce aux décomposeurs (bactéries, champignons,..) qui permettent de fermer les cycles par minéralisation de la matière organique morte.

I.2.3. Les pollutions du milieu aquatique

A cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques.

I.2.3. 1. Origine des polluants du milieu aquatique

En rejetant des effluents contaminés dans le milieu aquatique, les activités humaines industrielles, agricoles ou urbaines polluent les eaux, on peut distinguer trois grandes familles de pollution, la pollution physique, chimique et biologique (Tableau (I-8)).

Type de pollution	nature	origine
physique	Rejet d'eau chaude	Centrales thermiques, nucléaires.
	M.E.S (matière en suspension)	Rejet bains, érosion des sols.
chimique	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires.
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives.
	Métaux (Cd, Pb, Al, As)	Industries, agriculture, déchets.
	Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides...)	Industries, agriculture.
	Organochlorés (PCB, Solvants)	Industries.
	Composés organiques de synthèse	Industries.
	Détergents	Effluents domestiques.
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports.
Biologique	Bactéries, virus, champignons.	Effluents urbains, agricoles.

Tableau (I-8) : origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique [6].

Le déversement dans le milieu aquatique de substances ou d'effluents contaminés n'est pas la seule cause de pollution des eaux de surface ou souterraines.

En effet, l'eau de pluie permet aux polluants rejets dans l'atmosphère de retomber sur les sols et lessive les zones polluée. Par ruissellement et/ou infiltration, ces xénobiotiques peuvent alors rejoindre le milieu aquatique [4].

De très nombreuses molécules sont donc susceptibles de polluer les écosystèmes aquatiques.

Tout fois, nous nous intéresserons dans cette étude à deux familles : Les métaux lourds et les pesticides

I.2.3. 2. Les pollutions aux métaux lourds

Dans le milieu aquatique, les métaux lourds peuvent se présenter sous diverse formes physiques (dissoutes, particulaires) et chimiques (minérales, organiques). Afin d'évaluer la biodisponibilité du métal, il est nécessaire de connaître sa spéciation c'est-à-dire sa distribution vis-à-vis de ses différentes forme physico-chimique (Tableau (I-9)).

Les études concernant les métaux lourds, l'arsenic, l'antimoine les pesticides, la pollution médicamenteuse des eaux et en particulier la dispersion de perturbateurs endocriniens.

L'approche utilisée met en œuvre des observations sur le terrain (détermination des concentrations totales et spéciation), des mesures en laboratoire comme la détermination de la toxicité à des doses sur des organismes tests [7].

Dans le milieu aquatique, de nombreux paramètres influencent cette répartition (Tableau (I-9)), notamment la présence de ligands, d'ions compétiteurs talque Ca^{+2} et Mg^{+2} les conditions redox, la température, le PH, la force ionique... [4].

Forme physico-chimique possible		Exemples
Ion métallique hydraté		$Cd(H_2O)_6^{2+}$
complexe	organique	Al-citrate, Cu-fulvate.
	inorganique	$Cu CO_3$
Espace colloïdale	organique	Cu^{3+} -acide humique
	inorganique	Pb^{2+} - MnO_2
Espace particulaire		Métaux associés à des minéraux, sols, argiles, bactéries, micro-algue, matières organiques.

Tableau (I-9) : Les formes physico-chimiques des métaux lourd dans le milieu aquatique.

Si d'un point de vue écotoxicologique, la forme libre M^{n+} comme la plus toxique, la connaissance des autres formes physico-chimiques du métal est importante car des modifications des conditions abiotiques (pH, conditions redox...) ou biotiques (dégradations biologiques de la matière organique pouvant modifier le pH...) peuvent influencer la biodisponibilité des métaux et par conséquent leur toxicité.

Plusieurs réactions physico-chimiques ou biologiques conditionnant la spéciation d'un métal peuvent donc survenir dans un milieu aussi complexe que le milieu aquatique.

I.2.3. 3. Les pollutions aux pesticides

Les pesticides, produits phytosanitaires, se répartissent en plusieurs grandes familles dont les herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes, les insecticides contre les insectes, les fongicides contre les champignons, ... (Tableau (I-10))

Familles	Groupes chimiques
Herbicides	s-triazines (atrazine...)
	Herbicides phénoxy (2,4-D, 2, 4,5-T...)
	Phénylurées (diuron, isopropuron....)
	Bipyridyles (paraquat...)
	Dinitroanilines (trifluraline...)
	Sulfonylurées (triasulfuron...) et imidazolinones (imazapyr...)
Insecticides	Organophosphorés (parathion, malathion...)
	Carbamates (carbaryl, carbofuran...)
	Organochlorés (DDT...)
	Pyrethroïdes (cyperméthrine, deltaméthrine...)
Fongicides	Triazoles (triadimefone...), imazadoles (bénomyl, carbendazime...)
	Strobilurines (azoxystrobine...)

Tableau (I-10) : Quelques grandes familles de pesticides.

Les pesticides sont des produits utilisés à la fois durant l'épandage, pour le traitement des sols mais également pour le stockage des denrées alimentaire. Ils sont alors susceptibles, de polluer différents compartiments environnementaux mais aussi les produits de consommation, compte tenu de leurs effets toxiques pour la santé humains [8].



Figure (I-8) : L'épandage de pesticides.

I.2.3.4. Les conséquences des pollutions sur les écosystèmes aquatiques

Au sein d'un écosystème, l'action d'un polluant est conditionnée par son interaction avec les facteurs abiotiques et biotiques. Toutefois, l'évaluation de ces conséquences potentielles sur l'ensemble de l'écosystème reste délicate et nécessite de considérer différentes échelles spatio-temporelles afin de mieux cerner l'action de ce toxique sur chaque niveau trophique (Figure (I-9)).

Il apparaît néanmoins que les désordres initiaux ne touchent qu'un petit nombre d'espèces sensibles aux pollutions pour lesquelles la croissance, le développement voire la reproduction sont principalement affectés.

Au niveau des populations, ces impacts peuvent se traduire par une diminution de la densité (abondance) et de la richesse spécifique au sein de l'écosystème. Suite à une pollution, une recolonisation du milieu par des espèces opportunistes tolérantes aux pollutions peut également survenir.

Enfin, au niveau de l'écosystème, une possible disparition d'espèces, une biodiversité réduite et des modifications de dominance entre les populations sont les principaux impacts qui peuvent survenir et modifier le fonctionnement global de l'écosystème.

Ainsi la diminution de l'abondance des consommateurs par rapport à celle des producteurs affecte les relations de dominance dans ces peuplements et peut à terme déséquilibrer l'écosystème [4].

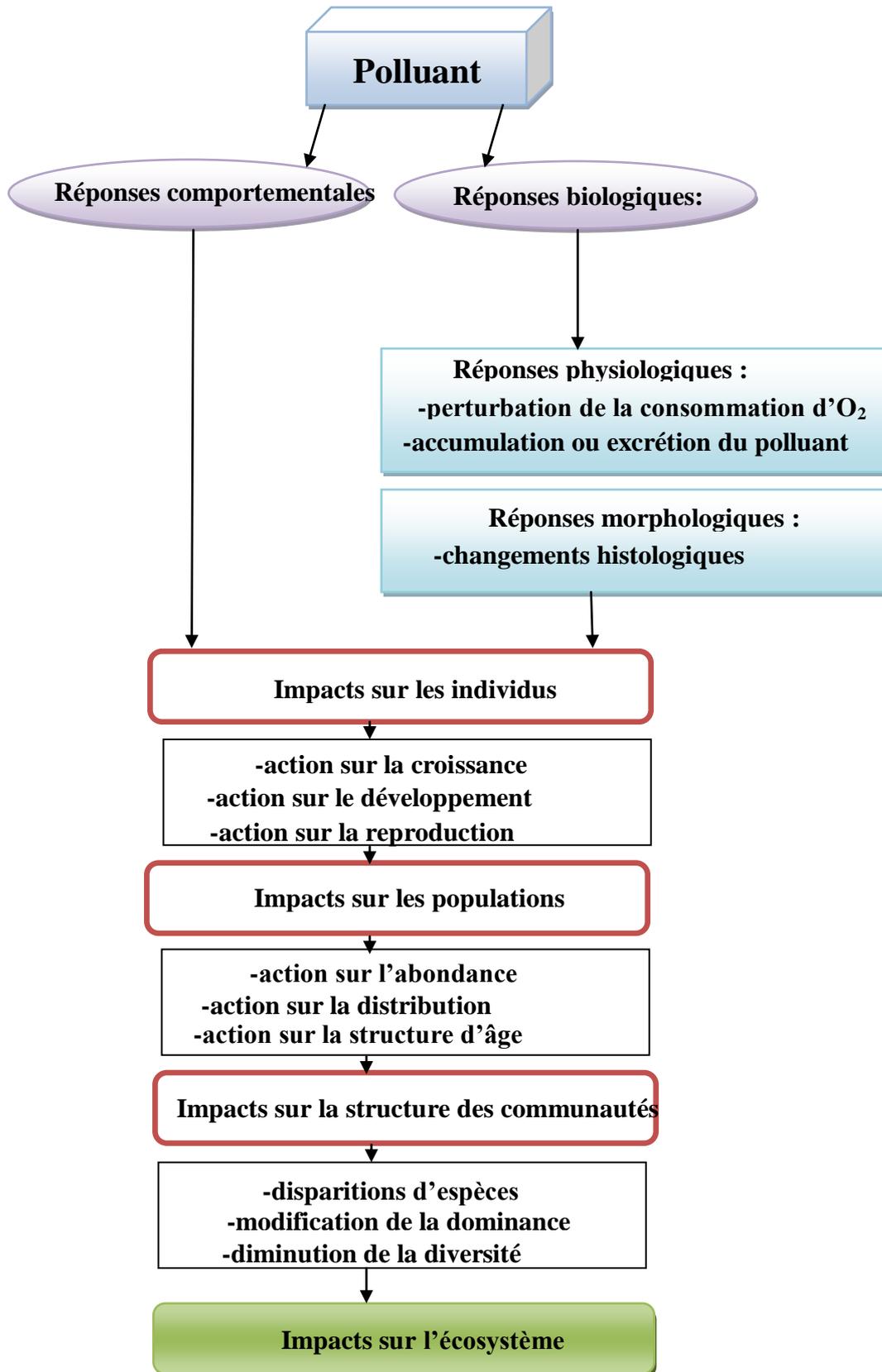


Figure (I-9) : Schéma des conséquences d'un polluant sur un écosystème aquatique.

I.2.3.5. Impact sur l'environnement et la santé

La pollution de l'eau peut exercer des effets différés dans le temps et lointains dans l'espace, induisant ainsi une nuisance pour les écosystèmes aquatiques.

Un écosystème aquatique dispose, comme tout milieu naturel, d'une capacité d'auto-épuration. Cependant, l'importance des apports polluants peut engendrer une saturation de cette capacité.

Un apport massif de polluants peut engendrer une catastrophe écologique au niveau de la faune aquatique.

L'eau qu'elle soit insuffisante ou de mauvaise qualité peut être une origine de plusieurs maladies qui menacent la vie humaine.

Les maladies hydriques peuvent être classées selon cinq catégories différentes :

- ❖ Maladies transmises par l'eau ;
- ❖ Infections de la peau et des yeux, dues au manque d'eau ;
- ❖ Maladies causées par un organisme aquatique invertébré ;
- ❖ Maladies causées par un insecte fourmillant à proximité de l'eau ;
- ❖ Infections causées par des mauvaises conditions sanitaires [9].

I.3. La surveillance des écosystèmes aquatiques

I.3.1. La gestion de l'eau en Algérie

La gestion de l'eau en Algérie pose un problème épineux aux autorités. Les ressources disponibles sont en deçà des besoins. La vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux consommateurs.

La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes internationales. Les instruments de gestion de l'eau ne sont pas efficaces.

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques.

L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. L'utilisation de l'eau est liée aux activités économiques. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion.

Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de ladite gestion.

I.3.2. La surveillance de la qualité de l'eau

L'eau est l'un des éléments naturels qui fait l'objet d'une surveillance intense à travers le monde.

Les objectifs majeurs de la surveillance de la qualité de l'eau sont de préserver la santé des consommateurs.

La surveillance de la qualité de l'eau et de l'état des sources, des puits, des installations hydrauliques et des réseaux de distributions est une activité fondamentale de prévention. Le ministère des ressources hydriques en Algérie a instauré dans chaque région du pays un organisme "agence nationale des ressources hydrauliques" (A.N.R.H) pour surveiller les eaux de surface et les eaux souterraines. L'un de ces rôles est en général de contrôler périodiquement les qualités physico-chimiques et bactériologiques de l'eau, de faire un dépistage de tout phénomène accidentel de pollution.

La préservation de la qualité de l'eau, fait l'objet d'une attention particulière à l'échelle mondiale. Il existe un réseau de surveillance international depuis 1977. Ce réseau s'inscrit dans le cadre du système mondial de surveillance continue de l'environnement (CEMS).

A l'aide de ce réseau international, plus de 50 paramètres sont évalués pour fournir des données sur la qualité de l'eau de boisson, à usage agricole et industriel. Malheureusement l'Algérie ne fait pas partie de ce réseau.

I.3.3. Critères de qualité des eaux de surface

Le réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface comprend plusieurs stations réparties sur tout le territoire Algérien. Les mesures sont réalisées au moins une fois par mois, elles portent sur 27 paramètres physico-chimiques de la température à la DBO₅ (demande biologique en oxygène).

Pour déterminer les qualités des eaux superficielles l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ne retient que huit paramètres.

Les eaux sont classées par l'A.N.R.H. en quatre groupes de qualité de bonne à très polluée, tableau (I-10).

La classe de qualité la plus défavorable dans chacun des paramètres détermine la classe globale du point considéré.

Classe de qualité					
Paramètres	Unité	Bonne	Moyenne	Polluée	Très Polluée
DBO₅	mg O ₂ /l	<5	5 à 10	10 à 15	>15
DCO	mg O ₂ /l	<20	20 à 40	40 à 50	>50
MO	mg O ₂ /l	<5	5 à 10	10 à 15	>15
O₂dissout	%	90 à 100	50 à 90	30 à 50	<30
NH₄	mg /l	0 à 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	>3
PO₄	mg /l	0 à 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	>3
NO₂	mg /l	0 à 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	>3
NO₃	mg /l	<10	10 à 20	20 à 40	>40

Tableau (I-11) : Classe de qualité des eaux de surface (ANRH Mai 2004)

Les eaux destinées à la consommation humaine doivent subir des traitements en fonction de l'eau brute, pour fournir une eau respectant la norme algérienne de potabilité des eaux inspirée des recommandations de L'O.M.S. tenant compte de 4 paramètres organoleptiques, 3 paramètres bactériologiques (selon la destination des eaux), 16 facteurs physico-chimiques et 16 facteurs indésirables ou toxiques [10].

A part les critères de qualité des eaux de surface concernant surtout la pollution il n'existe pas de réglementation légiférant les paramètres bactériologiques pour les eaux destinées à l'irrigation des terres agricoles [11].

I.3.4. Le contrôle de la pollution

On ne peut parler de la lutte contre la pollution en Algérie, on n'est pas encore à ce stade. Par contre, on est au stade du constat des différentes pollutions notamment par le biais des maladies hydriques. Chaque année, durant les saisons chaudes et sèches, des épidémies se déclarent çà et là. A Oran, du fait de l'évaporation intense, le taux de salinité de l'eau potable dépasse largement la norme. A Alger et Constantine, des cas de choléra sont signalés. Le développement socio-économique et l'urbanisation rapide ont eu un impact néfaste sur la qualité des ressources en eau. De nombreux cas de pollution industrielle et urbaine ont été observés en l'occurrence au niveau des barrages, des eaux souterraines et des cours d'eau. Ces derniers sont l'exutoire de rejets extrêmement polluants.

Un réseau de surveillance de la pollution a été réalisé au niveau de cent stations à travers le pays.

Toutefois, il ne concerne que les eaux superficielles. Une trentaine de paramètres physico-chimiques et bactériologiques permettent le contrôle de la pollution. Mais ces mesures ne sont pas continues. Il est à noter aussi le manque de coordination entre les différents laboratoires et administrations chargées de la surveillance.

A titre d'exemple, les services du Ministère de la Santé ne collaborent pas avec les services des communes qui ont la même responsabilité. Il en est de même entre l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et l'Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement (ANPE). Les divergences entre les administrations de l'eau à tous les niveaux sont beaucoup plus importantes. Le contrôle des unités industrielles est presque absent. Les normes de rejet ne sont pas définies ni les redevances que les industriels doivent payer [10].

I.4. Conclusion

Les écosystèmes aquatiques sont donc des milieux fragiles. Toutefois, les conséquences d'une pollution ne sont pas nécessairement visibles. Elles affectent ainsi dans un premier temps les populations particulièrement sensibles et il est parfois nécessaire de considérer des échéances plus longues pour constater des perturbations au niveau de l'écosystème.

Les écosystèmes équilibrés peuvent néanmoins s'auto-épurer (Figure (I-10)). En effet, des mécanismes de dépollution internes (dilution, sédimentation, métabolisation des polluants par certains organismes, ...) leur permettent d'éliminer les xénobiotiques. Cette auto-épuration n'est toutefois possible que si les polluants ne sont pas rejetés en concentrations trop élevées.

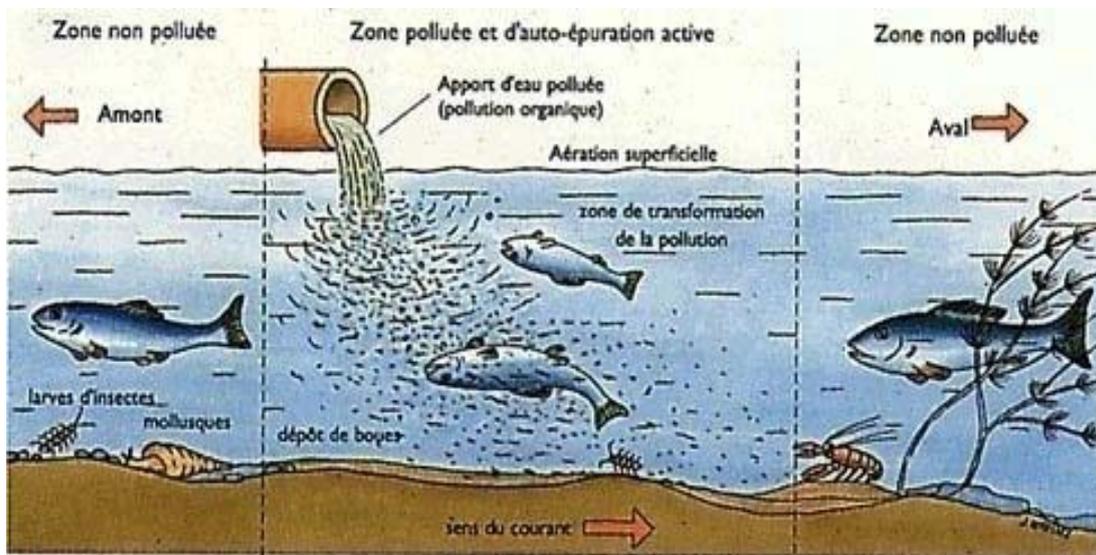


Figure (I-10) : Auto-épuration d'un écosystème aquatique [12].

Il apparaît néanmoins important, pour préserver ces milieux, de réglementer les rejets et d'assurer un contrôle de la qualité des eaux.

Afin de faciliter les analyses de laboratoire par les techniques d'analyses électrochimiques qui offrent l'avantage d'être rapides, sensibles et faciles à mettre en œuvre.

Ces techniques offrent une excellente sensibilité et permettent la détermination simultanée de plusieurs éléments.

La détection d'une espèce chimique ou biochimique ainsi que l'évaluation de sa quantité ou de sa concentration peuvent être faites à l'aide de capteurs électrochimiques ou biochimiques pour la surveillance sur site [4].

Références bibliographiques

- [1] **Tefiani valette**, L'eau, élément fondamental, 2000, p1-p20.
- [2] **Daniel Thévent**, Pluvial-Urbain-lycée-Hoche-DT-2007, p7.
- [3] **Sophie MUR**, Le cycle de l'eau : Les stocks d'eau, 2007, p4.
- [4] **Céline Chouteau**, Développement d'un biocapteur conductimétrique bi enzymatique à cellules algales, N° d'ordre -: 04-ISAL-0066, 2004, p33-p34-p37-p39-p43.
- [5] **Pyramide écologique d'un écosystème aquatique** (source : site Agence de l'Eau Rhin-Meuse).
- [6] **CNRS**, Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (source : les Dossiers scientifiques du CNRS : l'Eau).
- [7] **L.P.S-Rapport d'activité**, Environnement, la pollution d'eau, 1996-2000, p45.
- [8] **Jean-Luc seidel, Françoise Albas-Poulichet**, UMR 5569 hydrosiences Montpellier, CNRS ,IRD, UMI, UMII.
- [9] **khadija el mrabet, béatrice lalere, véronique le diouron, gilles hervouet, catherine yardin, valérie pichon**, méthode d'analyse multiresidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem, 2007.
- [10] **Mohamed Abdellatif Tabet helal , Nacera Ghellai**, caractérisation des eaux du barrage "hammam boughrara" (Algérie nord occidentale) destinées a la consommation humaine et a l'irrigation), 2006, p260-p261.

[11] ANR, programme ecotechnologies et développement durable (precodd), 2005, p4.

[12] <http://www.gemswater.org>.