

## *INTRODUCTION*

L'eau (que l'on peut aussi appeler oxyde de dihydrogène, hydroxyde d'hydrogène ou acide hydroxyque) est un composé chimique simple, mais avec des propriétés complexes à cause de sa polarisation (voir Nature dipolaire de l'eau). Sa formule chimique est  $H_2O$ , c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène entre deux atomes d'hydrogène, disposés en V très ouvert. L'eau lourde est un composé formé d'un atome d'oxygène et de deux atomes de deutérium, qui est un isotope de l'hydrogène (oxyde de deutérium,  $D_2O$ ).

L'eau se trouve presque partout sur la terre et est un composé essentiel pour tous les organismes vivants connus. Le corps humain est ainsi composé à 70 % d'eau. Par construction des êtres vivants, l'eau est pour eux (sauf exception très notable) incolore, insipide, inodore, etc.

A pression ambiante (environ un bar), l'eau est gazeuse au-dessus de  $100^{\circ}C$ , solide en dessous de  $0^{\circ}C$ , et liquide dans les conditions normales de température et de pression. C'est là une particularité essentielle : les autres composés proches ou apparentés, (sulfure d'hydrogène  $H_2S$ , ammoniac  $NH_3$ , et méthane  $CH_4$  par exemple), sont tous gazeux à des températures bien plus basses.

Près de 70 % de la surface de la terre est recouverte d'eau (97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce), essentiellement sous forme d'océans. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, un fleuve, une rivière, un ruisseau, un canal.... La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique.

## PARTIE 1 : Généralités sur l'eau – Comment rendre l'eau potable

### I- L'eau : ses propriétés

#### 1) Étymologie

Le mot eau vient du latin aqua (qui a donné par exemple : aquarium).

#### 2) Origine

Selon la conception actuelle,

- L'hydrogène est produit très tôt dans l'histoire de l'univers, c'est le premier atome formé (Cf. big bang)
- L'oxygène est le produit un peu plus tardif de réaction de fusion thermonucléaire au sein de certaines étoiles.
- Ces deux atomes se combinent au cours d'une réaction exothermique pour former l'eau.
- Lorsque la Terre s'est formée, l'eau était une des molécules présentes en quantité importante (comme dans les météorites et comètes)

#### 3) Propriétés Physique

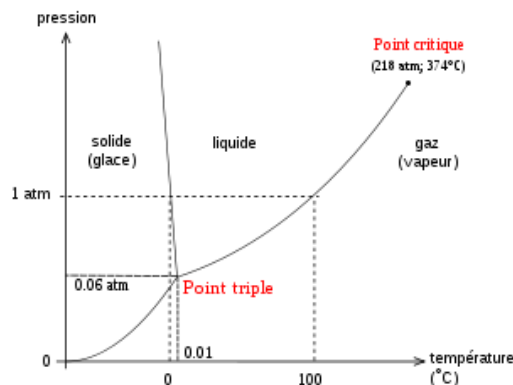
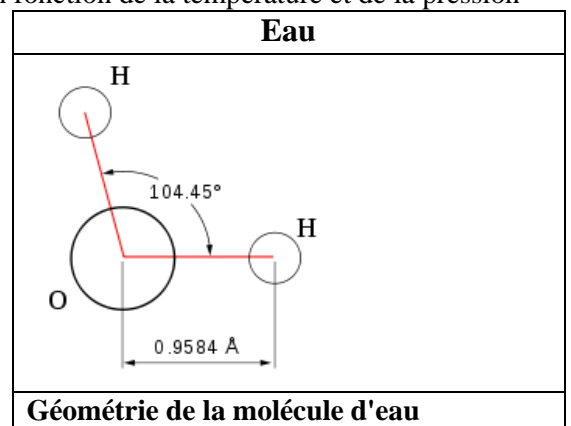


Diagramme de phase de l'eau, montrant l'état de l'eau pure en fonction de la température et de la pression

<i>Général</i>	
Formule brute	H <sub>2</sub> O
Apparence	Liquide incolore



<i>Propriétés physiques</i>	
Masse moléculaire	18 g.mol <sup>-1</sup>
Température de fusion	0°C (273,15 K)
Température de vaporisation	100°C (373,15 K)
Densité	1 (liquide)
Densité	0,913 (solide)

<i>Thermochimie</i>	
$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-241,5 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{liquide}}$	-285,8 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{solide}}$	N/A
$C_p$	pour l'eau liquide : 4,186 kJ/(kg·K)
$C_p$	pour l'eau solide : 2,060 kJ/(kg·K)
Chaleur latente de vaporisation	257,92 kJ/kg
Chaleur latente de fusion	335 kJ/kg
<b>Unités du SI &amp; CNTP, sauf indication contraire</b>	

L'état solide de l'eau est la glace ; l'état gazeux est la vapeur (d'eau). Elle est totalement invisible et si on la voit s'élever au-dessus d'une casserole d'eau bouillante, c'est que le mouvement ascendant de la vapeur entraîne avec lui des minuscules gouttelettes d'eau. L'état de l'eau dépend des conditions de pression P et de température T. Il existe une situation unique (P,T) dans laquelle l'eau coexiste sous les trois formes solide, liquide, et gazeux ; cette situation est appelée " point triple de l'eau ", elle a lieu à une température de 273,16 K (0,01°C) et une pression de 611,2 Pa.

Les unités de température (anciennement les degrés Celsius, maintenant les kelvins) sont définies grâce à ce point triple de l'eau.

La vélocité du son dans l'eau est de 1 500 m/s dans les conditions normales de température et de pression.

La masse de 1 L d'eau à la température de 4°C était la première définition du kilogramme. Par approximation, on prend pour masse volumique de l'eau dans les conditions normales la valeur de 1 000 kg/m<sup>3</sup>, une tonne par mètre cube soit un kilogramme par litre.

La chaleur massique de l'eau est de 4 186 J/(kg K) dans les conditions normales de température et de pression. L'eau était utilisée comme étalon de chaleur dans d'anciens systèmes d'unité : la calorie (et la frigorie) quantifiait la chaleur à apporter (resp. soustraire) pour augmenter (resp. réduire) d'un degré Celsius la température d'un gramme d'eau : soit 4,185 joules.

#### Température d'ébullition de l'eau en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Temp. (°C)
0	100
4 807 (Mont Blanc)	85
8 844 (Everest)	72

**Tableau 1 : Quelques Propriétés de l'eau en fonction de la température**

Température (°C)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Chaleur massique (J/g·K)	Viscosité (μPa·s)
0	0.99984	4.2176	1793
10	0.99970	4.1921	1307
20	0.99821	4.1818	1002
30	0.99565	4.1784	797,7
40	0.99222	4.1785	653,2
50	0.98803	4.1806	547,0
60	0.98320	4.1843	466,5
70	0.97778	4.1895	404,0
80	0.97182	4.1963	354,4
90	0.96535	4.2050	314,5
100	0.95840	4.2159	281,8

#### 4) Propriétés de l'eau liées à la vie terrestre

Les caractéristiques de l'eau font d'elle une molécule remarquable, aux particularités qui ont permis à la vie sur Terre de se développer. Elles sont surtout liées à sa **nature dipolaire**.

- ◆ L'eau a une force de cohésion élevée, ce qui rend cette matière difficile à évaporer (température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire). Cela permet à une importante phase liquide d'exister aux températures connues sur Terre, phase liquide indispensable à la vie telle que nous la connaissons.
- ◆ Ses propriétés de solvant " doux " permettent à un très grand nombre de réactions biochimiques de se produire.
- ◆ Le fait que la densité de l'eau soit plus grande à l'état liquide que solide, propriété commune avec le Bismuth, a une conséquence remarquable : la glace flotte. De surcroît, le fait que la densité de l'eau douce soit maximale à 4°C fait que la température au fond d'un lac ne peut pas descendre en dessous de 4°C (sauf cas extrêmes). Cela permet à la vie aquatique de survivre aux périodes glacées, car l'eau reste liquide sous son manteau de glace isolant (d'ordinaire la densité à l'état liquide est plus faible qu'à l'état solide pour les autres corps).
- ◆ Sa tension superficielle particulièrement élevée présente le phénomène de capillarité, qui permet, entre autres, aux plantes de pousser et à de nombreux êtres vivants de se déplacer sur la surface de l'eau.

#### 5) Indice de réfraction de l'eau

L'indice de réfraction  $n$  d'un milieu transparent est une mesure de sa capacité de changer la direction de propagation d'un rayon de lumière qui y entre. Si la lumière devait voyager dans l'espace vide puis pénétrer dans l'eau, on pourrait faire le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction (mesurés à partir de la perpendiculaire à la surface de l'eau) selon la loi de Snell-Descartes (voir Réfraction) pour calculer l'indice de réfraction de l'eau relativement au vide. Cet indice ne dépendrait que de l'état physique de l'eau (solide, liquide ou gazeux).

Mais, dans la pratique, il est plus simple d'utiliser une interface ou dioptre air-eau pour obtenir l'indice de réfraction de l'eau par rapport à l'air, et puis pour le convertir de l'air au vide en multipliant par l'indice de l'air par rapport au vide. Le résultat, qui est toujours plus grand que 1, est le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à sa vitesse dans l'eau : la lumière voyage plus lentement dans l'eau que dans le vide (ou dans l'air).

Tous les milieux transparents sont dispersifs, ce qui signifie que la vitesse de la lumière change avec sa longueur d'onde  $\lambda$ . Plus précisément, dans la partie visible du spectre électromagnétique (approximativement 400 à 700 nanomètres) l'indice de réfraction est généralement une fonction décroissante de longueur d'onde : la lumière violette est plus déviée que le rouge. En outre, le taux de changement de l'indice de réfraction augmente également tandis que la longueur d'onde diminue. L'indice de réfraction augmente habituellement avec la densité du milieu.

L'eau présente toutes ces caractéristiques. Le tableau suivant montre les résultats de quelques mesures (Tilton et Taylor) de l'indice de réfraction de l'eau,  $n(\lambda)$  par rapport à de l'air sec de même température  $T$  que l'eau et à la pression de une atmosphère (760 mmHg ou 1 013 hPa).

<b>Indice de réfraction de l'eau en fonction de sa température et de la longueur d'onde de la lumière</b>			
<b>Longueur d'onde <math>\lambda</math> (Angströms)</b>	<b><math>T = 10^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>T = 20^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>T = 30^\circ\text{C}</math></b>
7 065	1,330 7	1,330 0	1,329 0
5 893	1,333 7	1,333 0	1,331 9
5 016	1,337 1	1,336 4	1,335 3
4 047	1,343 5	1,342 7	1,341 7

Pour convertir les valeurs sous forme de tableaux relatifs à l'indice du vide, ajoutez 4 à la quatrième position décimale. Notez que le  $n(\lambda)$  augmente pendant que la température de l'eau diminue. Ces résultats sont conformes aux attentes, puisque la densité de l'eau augmente lorsqu'elle se refroidit. Il est intéressant, cependant, que si les mesures sont faites à de plus basses températures l'indice ne montre pas d'extremum à 4°C, malgré le fait que la densité de l'eau soit maximale à cette température.

L'eau de mer contient des impuretés dissoutes, principalement sous forme de sels dissociés de sodium, de magnésium, de calcium, et de potassium. Sa densité, et par conséquent  $n(\lambda)$ , dépendent donc de sa salinité exprimée en grammes de sels dissous par litre d'eau de mer (g/L) ou en grammes par kilogramme (g/kg) équivalent à des parties par mille en masse. Il est à noter que les fonds marins (< 3 000 m) sont à une température inférieures à 4°C (environ 2°C ou moins) car l'eau salée voit son maximum de densité à une température inférieure, et surtout cet extremum s'estompe en un plateau constant avant la congélation. Le mouvement des masses océaniques profondes est dominé par la variation de leur salinité. Elles proviennent principalement de la saumure issue de la formation de la banquise (congélation de l'eau de mer) en hiver aux pôles, ainsi que du refroidissement des eaux de surfaces dans les mêmes conditions.

**Le tableau 2** (pris de Dorsey) montre comment le  $n(\lambda)$  augmente avec la salinité pour les D-lignes de sodium (moyenne : 5 893 Angströms = 589,3 nm) à 18°C.

Tableau 2 : Changements de l'indice de réfraction dû à la salinité =augmentation de la salinité

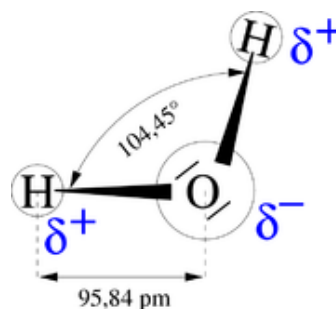
salinité (g/kg)	valeur de $n(\lambda)$	Emplacement
5	0,000 97	mers baltiques nordiques
10	0,001 94	
15	0,002 90	
20	0,003 86	enfoncements de Biafra
25	0,004 82	
30	0,005 77	
35	0,006 73	surface de l' <a href="#">Océan Atlantique</a>
40	0,007 69	mers rouges nordiques

L'indice de réfraction est également une fonction de la pression de l'eau, mais la dépendance est tout à fait faible en raison de l'incompressibilité relative de l'eau (comme tous les liquides). En fait, sur les gammes normales des températures (0 - 30°C), l'augmentation approximative du  $n(\lambda)$  est 0,000 016 quand la pression de l'eau augmente d'une atmosphère.

Clairement, les facteurs les plus significatifs affectant le  $n(\lambda)$  sont la longueur d'onde de la lumière et la salinité de l'eau. Néanmoins, le  $n(\lambda)$  excède de moins de 1 % la gamme indiquée des valeurs de ces variables.

## 6) Propriétés Chimiques

Nature dipolaire de l'eau



Dipôle de la molécule d'eau

Une propriété très importante de l'eau est sa nature polaire. La molécule d'eau forme un angle de  $104,45^\circ$  au niveau de l'atome d'oxygène entre les deux atomes d'hydrogène. Puisque l'oxygène a une électronégativité plus forte que l'hydrogène, le côté de la molécule d'eau où se trouve l'atome d'oxygène est chargé négativement, par comparaison avec le côté hydrogène. Une molécule avec une telle différence de charge est appelée un dipôle (molécule polaire), ayant un moment dipolaire de 1,83D. Cette différence de charge fait que les molécules d'eau s'attirent les unes les autres, le côté positif de l'une attirant le côté négatif d'une autre. Un tel lien électrique entre deux molécules s'appelle un pont hydrogène ou liaison hydrogène.

Cette polarisation permet aussi à la molécule d'eau de dissoudre les corps ioniques, en particulier les sels, et de les maintenir dans cet état en entourant chaque ion d'une coque de molécules d'eau, c'est la solvatation (voir ci-dessous l'eau comme solvant).

Cette force d'attraction, relativement faible par rapport aux liaisons chimiques covalentes de la molécule elle-même, est à la source de propriétés comme un point d'ébullition élevé (quantité d'énergie calorifique nécessaire pour briser les ponts hydrogènes), ainsi qu'une capacité calorifique élevée.

A cause des ponts hydrogènes également, la densité de l'eau liquide est supérieure à la densité de la glace (état où l'eau est cristallisée). De ce fait, en hiver la glace qui se forme à la surface d'un étang y reste et protège du gel l'eau située plus bas, ce qui permet aux poissons et autres êtres vivants d'y survivre. L'eau atteint sa plus haute densité à la température de  $4^\circ\text{C}$ , qui est ainsi la température qu'on trouve typiquement au fond d'un étang gelé. Une autre conséquence est que la glace fond quand suffisamment de pression lui est appliquée.

L'eau se dissocie naturellement en ion hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  et ion hydroxyde  $\text{OH}^-$  :



Par perte d'un proton  $\text{H}^+$ , elle devient  $\text{OH}^-$ . Par gain d'un proton  $\text{H}^+$ , elle devient l'ion hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$ . On dit donc que c'est une espèce amphotère. Du fait de l'équilibre, à une température donnée, le produit des concentrations de ces ions, ou " produit de dissociation ", est constant. À  $25^\circ\text{C}$ , il vaut :

$$[\text{H}_3\text{O}^+]\cdot[\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ (pas d'unité car constante d'équilibre)}$$

La concentration (en mole par litre) étant symbolisée par une mise entre crochets.

Les ions hydronium et hydroxyde sont très réactifs, ils peuvent attaquer d'autres matériaux, les dissoudre. On définit l'acidité grâce à la concentration en ion hydronium, par le pH :

$$pH = -\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+]$$

À  $25^\circ\text{C}$ , le pH de l'eau pure vaut 7, il est dit neutre. L'ajout de certains produits dits " acides " va déplacer l'équilibre de dissociation de l'eau et abaisser le pH (augmentation du nombre d'ions hydronium) ; à l'inverse, l'ajout de certains produits dits " basiques " va déséquilibrer la réaction dans l'autre sens, favoriser la présence d'ions hydroxyde et augmenter le pH.

On note que l'eau peut capturer un proton ou en libérer un, c'est donc un ampholyte, c'est-à-dire à la fois un acide et une base. Cet équilibre acide/base est d'une importance capitale en chimie minérale comme en chimie organique.

## 7) L'eau comme solvant



**Eau naturelle oxygénée**

Grâce à sa polarité, l'eau est un excellent solvant. Quand un composé ionique ou polaire pénètre dans l'eau, il est entouré de molécules d'eau. La relative petite taille de ces molécules d'eau fait que plusieurs d'entre elles entourent la molécule de soluté. Les dipôles négatifs de l'eau attirent les régions positivement chargées du soluté, et vice versa pour les dipôles positifs. L'eau fait un excellent écran aux interactions électriques (la permittivité électrique  $\epsilon$  de l'eau est de 78,5 à  $25^\circ\text{C}$ ), il dissocie donc facilement les ions.

En général, les substances ioniques et polaires comme les acides, alcools, et sels se dissolvent facilement dans l'eau, et les substances non-polaires comme les huiles et les graisses se dissolvent difficilement. Ces substances non-polaires restent ensemble dans l'eau car il est énergétiquement plus facile pour les molécules d'eau de former des ponts hydrogène entre elles que de s'engager dans des interactions de van der Waals avec les molécules non polaires.

Un exemple de soluté ionique est le sel de cuisine alias chlorure de sodium, NaCl, qui se sépare en cations Na<sup>+</sup> et anions Cl<sup>-</sup>, chacun entouré de molécules d'eau. Les ions sont alors facilement transportés loin de leur matrice cristalline. Un exemple de soluté non ionique est le sucre de table. Les dipôles des molécules d'eau forment des ponts hydrogène avec les régions dipolaire de la molécule de sucre, et celle-ci est ainsi extraite vers l'eau liquide.

Cette faculté de solvant de l'eau est vitale en biologie, parce que certaines réactions biochimiques n'ont lieu qu'en solution (par exemple, réactions dans le cytoplasme ou le sang.) C'est pourquoi, pour le moment, l'eau liquide est considérée comme indispensable à la vie et est activement recherchée sur les divers astres du système solaire, notamment sur Mars et Europe une lune de Jupiter.

### 8) Tension superficielle

Les ponts hydrogène confèrent à l'eau une grande tension superficielle et une grande cohésion. Cela se voit quand de petites quantités d'eau sont posées sur une surface non soluble et que l'eau reste ensemble sous forme de gouttes. Cette propriété qui se manifeste par la capillarité est utile dans le transport vertical de l'eau chez les végétaux et nuisible avec la remontée d'humidité dans les murs de maisons.

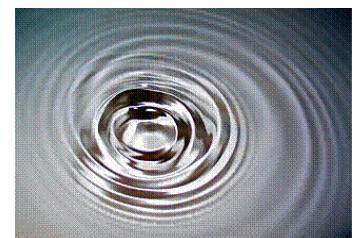
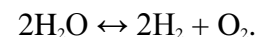
### 9) Conductivité

L'eau pure est en réalité un isolant, qui conduit mal l'électricité. Mais puisque l'eau est un si bon solvant, elle contient souvent une bonne quantité de soluté dissous, le plus souvent des sels. Si l'eau contient de telles impuretés, elle peut conduire l'électricité facilement. Le stator des très gros alternateurs est refroidi par circulation d'eau déionisée dans les conducteurs creux de l'enroulement. Malgré les différences de potentiel de plusieurs dizaines de milliers de volts entre le circuit de refroidissement et les conducteurs électriques, il n'y a pas de problèmes de fuite de courant. Voir conductivité électrique (mesure).

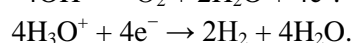
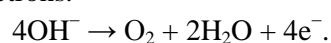
### 10) Décomposition de l'eau (thermolyse et électrolyse)

La première décomposition de l'eau fut faite par Lavoisier, en faisant passer de la vapeur d'eau sur du fer chauffé au rouge (thermolyse). Ce faisant, il établit que l'eau n'était pas un élément mais un corps chimique composé de plusieurs éléments.

La thermolyse de l'eau commence à devenir significative vers 750°C, et elle est totale vers 3 000°C. La réaction produit du dioxygène et du dihydrogène :



L'autre manière de décomposer l'eau est l'électrolyse. Sous l'effet d'un courant qui la traverse, l'eau peut être divisée en dihydrogène et dioxygène. Les molécules d'eau se dissocient naturellement en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup>, qui sont attirés par la cathode et l'anode respectivement mais comme cette dissociation est faible dans la pratique on a recours à des catalyseurs comme l'acide sulfurique ou l'hydroxyde de sodium. À l'anode, quatre ions OH<sup>-</sup> se combinent pour former des molécules de dioxygène O<sub>2</sub>, deux molécules d'eau, et libérer quatre électrons. Les molécules de dioxygène ainsi produites s'échappent sous forme de bulles de gaz vers la surface, où elles peuvent être collectées. Dans le même temps, à la cathode, il y a une libération de deux molécules de dihydrogène H<sub>2</sub> avec utilisation de quatre électrons.



## **II- Utilisation de l'eau**

### **1) L'eau dans l'alimentation**

- Eau potable
- Eau du robinet
- Eau de table
- Eau de source
- Eau minérale
- Eau gazeuse

### **2) Lutte contre l'incendie**

- en tant qu'agent d'extinction

### **3) Symbolique, usage et mythologie**

- L'eau, élément vital pour l'homme, est la boisson naturelle par excellence.
- L'eau est un des quatre éléments classiques mythiques avec le feu, la terre et l'air, et était vue par certains comme l'élément de base de l'univers. Ses caractéristiques sont le froid et l'humidité.
- Dans la symbolique occidentale, l'eau symbolise la purification, le renouveau : par exemple, l'eau bénite du baptême, l'eau coulante d'un fleuve.
- C'est aussi l'un des cinq éléments chinois avec la terre, le feu, le bois et le métal, associé au Nord et à la couleur noire, et l'un des cinq éléments japonais.
- Dans la théorie des humeurs corporelles, l'eau était associée au flegme, aussi dénommée pituite en physiologie antique.

### **4) L'eau artistique**

L'eau fascine depuis toujours les artistes. Elle a souvent été utilisée par l'Aquatique Show International, qui joue avec l'eau et qui est passé maître dans l'art d'accorder les lumières, la musique et les eaux en mouvement. Elle est aussi un élément indispensable pour certain sport où elle est l'élément principal comme pour la natation synchronisée où la nageuse joue avec l'eau pour lui faire faire des mouvements harmonieux. L'eau est également bien présente sur les scènes de théâtre, d'opéra, de ballet, dans le music-hall, dans les cirques, ainsi que les concerts qui cherchent à reproduire les sons de l'eau car ils sont plus nombreux qu'on ne le pense. Malgré tous les défis que l'eau demande, beaucoup ont relevé ce défi pour la beauté d'un élément qui provoque tant de rêves mais également de nombreux cauchemars pour le monde.

### **5) L'eau dans les croyances**

L'eau a longtemps revêtu plusieurs aspects dans les croyances et les religions des peuples. Ainsi, de la mythologie gréco-romaine aux religions actuelles, l'eau est toujours présente sous différents aspects : destructrice, purificatrice, source de vie, guérisseuse et protectrice.

### **6) L'eau destructrice**

L'eau revêt cet aspect-là notamment lorsqu'on parle de fin du monde ou de genèse. Mais cela ne se limite pas aux religions monothéistes. Ainsi, dans l'épopée de Gilgamesh, une tempête qui dura six jours et sept nuits était à l'origine des inondations et de la destruction de l'humanité. Les Aztèques ont eux aussi cet aspect de l'eau puisque le monde du Soleil d'Eau placé sous le signe de l'épouse de Tlaloc est détruit par déluge qui rasera même jusqu'aux montagnes. " Et l'Éternel dit: J'exterminerai de la face de la terre l'homme que j'ai créé, depuis l'homme jusqu'au bétail, aux reptiles, et aux oiseaux du ciel; car je me repens de les avoir faits. ", c'est par cela qu'est désignée la fin du monde dans la genèse judéo-chrétienne, et d'ajouter : " Les eaux grossirent de plus en plus, et toutes les hautes montagnes qui sont sous le ciel entier furent couvertes. "(La genèse, (VI, 7)/(VII, 19)). Le mythe des aborigènes d'Australie est, quant à lui, attaché à l'idée de punition et non pas de destruction, puisqu'une grenouille géante aurait absorbé toute l'eau et asséché la terre mais aurait tout recraché en rigolant aux contorsions d'une anguille.



### **7) L'eau purificatrice**

Cet aspect donne à l'eau un caractère presque sacré dans certaines croyances. En effet, outre la purification extérieure que confère l'eau, il y a aussi cette faculté d'effacer les difficultés et les péchés des croyants à son contact, et de laver le croyant de toute souillure. Les exemples sont nombreux allant de la purification dans le Gange dans l'hindouisme (où beaucoup de rituels sont exécutés au bord de l'eau tels que les funérailles), ou les ablutions à l'eau dans l'Islam jusqu'au baptême dans le christianisme ou l'initiation des prêtres shintoïstes.

### **8) L'eau guérisseuse et protectrice**

Outre l'aspect purificateur, l'eau s'est étoffée au cours des siècles et des croyances d'une faculté de guérison. Plusieurs signes de culte et d'adoration datant du néolithique ont été retrouvés près de sources d'eau en Europe. Longtemps, des amulettes d'eau bénite ont été accrochées à l'entrée des maisons pour protéger ses occupants du Mal. On considère que le contact avec certaines eau peut aller jusqu'à guérir de certaines maladies. L'exemple le plus proche est celui du pèlerinage à Lourdes en France où chaque année des milliers de gens se rendent pour se baigner dans sa source chaude. Parmi les cas de guérison par l'eau de Lourdes, 67 ont été reconnus par l'église catholique. Du point de vue de la science, les propriétés curatives ont été démontrées puisque, aujourd'hui, l'hydrothérapie est courante dans les soins de certaines maladies.

### **9) L'eau source de vie**

Bien que les sciences aient démontrées que l'eau était indispensable à la vie, la mythologie avait bien avant établi le rapport entre l'eau et la naissance. Ainsi, plusieurs dieux et déesses romains et grecques sont issus des eaux : ainsi Océan, un Titan, le fleuve qui entoure le monde et son épouse Téthys, une titanide tous deux issus de l'eau donnèrent naissance aux dieux fleuves et à plus de trois milles Océanides, leurs filles. D'autres plus célèbres ont leur vie liée à l'eau telles Vénus (" celle qui sort de la mer "), Amphitrite (déesse de la mer), Poséidon ou Nérée (divinité marine).

### III- Quelles eaux à traiter ? Pourquoi ?

L'eau pure qui ne contient que des molécules d'eau n'existe pas dans la nature car l'eau est un trop bon solvant. Elle contient naturellement, en l'absence de toute ingérence humaine, une très grande variété de matières dissoutes, inertes ou vivantes (gaz ; substances minérales ou organiques ; micro-organismes (bactéries, virus ou **plancton**= petits organisme vivant en suspension dans l'eau) ; fines particules d'argile, limons \_ la vase ; déchets végétaux, )

Les eaux naturelles contiennent aussi, et de plus en plus, des substances dont la présence est due aux rejets d'eaux usées domestiques et des effluents industriels, aux épandages d'engrais et de pesticides, aux déjections animales des élevages...

Il n'existe donc pas une mais des eaux.

L'eau peut engendrer des maladies, des intoxications, des troubles sur la santé. C'est pourquoi toutes les eaux dans la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau qui semble claire et limpide peut transporter toutes sortes de substances dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain.

C'est pour cela que le traitement de l'eau est **INDISPENSABLE**.

### IV- Analyse de la potabilité de l'eau

L'arrivée d'eau potable directement dans nos robinets est pour nous une évidence, mais nombreux sont les pays qui n'ont pas cette chance. Au Maroc, l'ONEP met de l'eau potable à la disposition des habitants des villes. L'eau ainsi distribuée doit répondre à des normes de qualité et ne doit présenter aucun risque pour la santé humaine ; elle doit aussi respecter des normes de composition pour analyses

### V- Quels sont les traitements effectués sur les eaux brutes en vue de les rendre potable ?

Les eaux souterraines souvent de bonne qualité constante ne nécessitent généralement qu'un traitement correctif du pH et de la dureté ainsi que des nitrates. Les eaux de surface nécessitent des traitements plus nombreux et plus spécifiques.

- Les nitrates sont éliminés par dénitrification ou par échange d'ions.
- L'ammoniaque est traité par chloration par nitrification biologique.
- Les hydrocarbures, seront éliminés grâce au charbon actif, ainsi que les pesticides après traitement à l'ozone.
- Les algues sont traitée et éliminée avec du sulfate de cuivre.
- pour clarifier les eaux brutes et éliminer les matières organiques, le permanganate de potassium et le sulfate d'alumine sont communément employés.
- Le fer, le manganèse, le magnésium et autres métaux sont éliminés par oxydation.
- La désinfection est assurée par le chlore et divers composés chlorés, l'ozone, les UV.

### VI- Quels sont les éléments testés dans une analyse de portabilité ?

<b>Chimie</b>	<b>Bactériologie</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ammonium;</li> <li>• nitrates;</li> <li>• turbidité;</li> <li>• conductivité;</li> <li>• Fer;</li> <li>• Aluminium;</li> <li>• pH;</li> <li>• Chlore.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche et dénombrement d'Escherichia coli (dans 100ml);</li> <li>• Recherche et dénombrement des entérocoques (dans 100ml);</li> <li>• Recherche et dénombrement des coliformes totaux(dans 100ml);</li> <li>• Bactéries sulfito-réductrices.</li> </ul>

**Par qui faire réaliser l'analyse ?**

Les laboratoires d'analyses peuvent réaliser ces tests sans problèmes. Cela peut s'avérer utile si vous possédez un puits ou un forage. Le coût reste variable selon les établissements.

Au Maroc, ce sont les laboratoires de l'ONE ou LPEE ou des laboratoires du ministère de l'environnement ou de l'hygiène qui fait partie du ministère de la santé.

**VII- Analyse physico-chimique de l'eau**

Les paramètres à analyser sont choisis en fonction de l'objectif recherché (voir " Les indicateurs de qualité / présentation générale ")

**1) Température**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

**2) Conductivité**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en terme de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau.

Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration... La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

**3) pH**

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

Tableau 1 : classification des eaux d'après leur pH

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

**4) Turbidité**

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organisme de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.

Tableau 2 : classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

### 5) Ions majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate.

### 6) Autres éléments dissous

#### *Le fer*

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle.

Présent sous forme réduite ( $\text{Fe}^{2+}$ ), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée  $\Rightarrow \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$

Les dalles de forages ou puits sont alors colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource car l'utilisation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et, consommée directement ou sous forme d'infusion (thé...), peut avoir un goût prononcé.

#### *Le fluor*

Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont les roches sédimentaires (fluorapatite des bassins phosphatés par exemple) mais également les roches magmatiques et certains filons. Les zones de thermalisme sont aussi concernées.

Les concentrations en fluor sont plus faibles si la teneur en  $\text{Ca}^{2+}$ , issu du gypse par exemple, est forte. Le temps de contact entre roche et eau souterraine ainsi que les réactions chimiques déterminent les teneurs en F- (équilibre avec la fluorine,  $\text{Ca}^{2+}$  dominant).

Le fluor est reconnu comme un élément essentiel pour la prévention des caries dentaires (dentifrices fluorés). Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/l (OMS) peut entraîner des problèmes de fluorose osseuse et dentaire (coloration en brun des dents pouvant évoluer jusqu'à leurs pertes). Les enfants sont particulièrement vulnérables à cette atteinte.

#### *L'Aluminium.*

La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium. Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de cet élément dans la maladie d'Alzheimer.

Selon l'OMS, la présence d'aluminium à des concentrations supérieures à 0,2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et d'une accentuation de la coloration de l'eau par le fer.

### 7) Oxygène, DBO, DCO et Oxydabilité

L'ensemble de ces paramètres permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau.

#### *Oxygène dissous*

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en  $\text{O}_2$  diminue lorsque la température et l'altitude augmentent.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Au niveau de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8,8 mg/l d'O<sub>2</sub> à saturation. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau.

#### **DBO, DCO et oxydabilité.**

La DBO (demande biochimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 j (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air ; on parle alors de la DBO<sub>5</sub>. Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en mg d'O<sub>2</sub> consommé (cf. tableau ci dessous).

Tableau 3 : Echelle de valeurs de DBO<sub>5</sub>

Situation	DBO <sub>5</sub> (mg/l d'O <sub>2</sub> )
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < c < 3
Egout	100 < c < 400
Rejet station d'épuration efficace	20 < c < 40

La DCO (demande chimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO.

La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO (oxydation " forcée ") et donne une image de la matière organique présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple). Le résultat s'exprime en mg/l d'O<sub>2</sub>.

Généralement, la DCO vaut de 1,5 à 2 fois la DBO<sub>5</sub> pour les eaux usées domestiques.

La relation empirique suivante lie la DBO<sub>5</sub>, la DCO et la matière organique de l'échantillon (MO) :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$$

L'oxydabilité est une mesure similaire à la DCO, utilisée dans le cas de faible concentration en matière organique (DCO < 40 mg/l d'O<sub>2</sub>). L'oxydant requis est le permanganate de potassium.

## ANNEXE I

### Analyse de l'eau potable

#### **Introduction :**

Il existe des normes qui fixent les exigences auxquelles doit satisfaire la qualité des eaux d'alimentation humaine.

- On comprend par "eau d'alimentation humaine" toute eau destinée à la boisson quelque soit le mode de sa distribution.

- Pour "les eaux minérales naturelles ": c'est une eau de sources ou de puits, qu'en raison de leur température et de la nature spéciale de leur principe salines, gazeux ou radioactifs peuvent être utilisées comme agents thérapeutiques.

Cette norme ne concerne que les eaux d'alimentation humaine. Elle ne doit contenir ni substances chimiques, ni microorganismes nocifs pour la santé, en outre elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent et doivent satisfaire aux exigences de qualité spécifiée. La vérification de conformités des eaux à ces exigences se fera par des normes marocaines suivant les méthodes analytiques suivantes :

1. **Analyse de type I** : elle est effectuée sur les eaux dont les réseaux de distribution à l'entrée du système de distribution, elle comprend les paramètres de qualités suivantes : la température, le PH, recherche des coliformes totaux et fécaux, germes totaux.

2. **Analyse de type II** : c'est une analyse de surveillance, elle est effectuée sur chaque captages à l'entrée du système de distribution elle comprend en plus de l'analyse de type I ; la turbidité, conductivité, Ammonium, Nitrate, Nitrite, Oxydabilité au permanganate de potassium, Dénombrement de streptocoques fécaux pour les eaux brutes.

3. **Analyse de type III** : Elle est utilisée pour les mêmes fins de l'analyse de type II sauf pour la confirmation d'une pollution bactérienne à l'intérieure du réseau de distribution d'eau, elle sert également à l'étude des ressources en eau qu'on ce propose d'utiliser pour l'approvisionnement public en eau; elle comprend tous les paramètres pour lesquels une valeur maximale admissible ou une valeur minimale requise et qui sont fixées par les normes applicables à l'eau d'alimentation. En plus des analyses de type I & II on trouve la détermination d'Oxygène dissout, Fer, Manganèse.

Pour traiter l'eau, il est nécessaire de caractériser le plus précisément possible. Les paramètres suivants qui sont les plus couramment étudiés.

#### **I) Détermination du pH :**

Le pH d'une eau mesure la concentration des ions hydrogènes dans l'eau. C'est à dire l'alcalinité et l'acidité de l'eau sur une échelle de 0 à 14. Dans les eaux naturelles, cette activité est due en particulier à l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$

7 est le pH du à la neutralité qui correspond à l'eau pure, le pH des eaux naturelles correspond est compris entre 6,5 à 7,8.

Les eaux provenant de massifs cristallins (exemple : granite) auront un pH plutôt acide, par contre les eaux issues de régions calcaires auront un pH basique.

L'acidité de l'eau provoque une corrosion des tuyauteries métalliques conduisant à une augmentation des concentrations de certaines substances métallique, et la basicité de l'eau entraîne un dépôts de calcaire dans les canalisations et aussi une diminution de l'efficacité du processus de désinfection au chlore.

La mesure de pH se fait par le pH mètre, cette mesure basée sur la détermination de l'activité des ions hydrogène en utilisant deux électrodes ; une électrode hydrogène et une électrode de référence. La différence du potentiel existant entre les deux électrodes plonges dans la même eau est en fonction linéaire du pH de celle-ci. On procède un étalonnage de l'appareil par une solution tampon de KCl de pH connu afin de faire coïncider l'échelle de pH à l'appareil avec le couple d'électrodes utilisées. une fois l'appareil étalonné on introduit l'électrode dans l'eau à examiner.

#### **II) Détermination de la température :**

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociation.

Elle agit sur la conductivité électrique, le pH, l'alcalinité..., elle permet la connaissance de l'origine des eaux souterraines.

La mesure de la température ( $T^\circ$ ) doit être sur place au moment du prélèvement de l'échantillon à l'aide thermomètre.

La température de  $15^\circ\text{C}$  est la température qui favorise le développement des microorganismes dans les canalisations et au même temps elle intensifie les odeurs et les saveurs.

S'i on observe les variations de la  $T^\circ$ , ceux ci peuvent être dues à un mélange de cet eau avec d'autres origines.

Une élévation de la  $T^\circ$  entraîne une modification de densité, une augmentation de pression de vapeur saturante à la surface, une diminution de solubilité des gaz.

Elle a pour avantage l'augmentation de la vitesse de sédimentation.

### **III) Détermination de la turbidité**

#### Définition :

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression de propriété optique d'une eau à absorber ou à diffuser la lumière. Elle est due à la condition plus ou moins trouble d'une eau, due à la présence de matières fines en suspension (limons, argiles, micro-organismes, etc...).

La turbidité est mesurée par néphélogétrie à l'aide d'un Turbidimètre où l'on introduit l'eau à analyser dans un petit flacon en verre, elle est exprimée en NTU (Néphélogétrie Turbidity Unit).

- la valeur maximale admissible (VMA) est de l'ordre de 5NTU.
- la valeur maximale recommandée (VMR) et 1NTU ; (Il est préférable que la turbidité soit inférieure à 1NTU pour permettre une désinfection efficace).

❖ Étalonnage de l'appareil avec la gamme étalon à base de FORMAZINE.

❖ Procéder à la mesure de turbidité des échantillons

$$T \text{ (en NTU)} = A \times (B+C) / C$$

A : Turbidité mesuré de l'échantillon dilué en NTU.

B : Volume de l'eau de la dilution utilisé.

C : Volume de l'échantillon ayant servi à la préparation de la dilution.

#### Principe

La méthode néphélogétrie est basée sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet tyndall) par l'échantillon à celle d'un étalon de référence dans les mêmes conditions de longueur d'onde et angle entre rayon incident et diffracté. L'intensité de la lumière diffractée, à condition que les particules en suspension ne soient pas absorbantes, est donnée par la formule de RAYLEIGH :

$$I_d = I_o K \sin^2(V/4\lambda) = I_o \sin^2\phi$$

Avec :

$I_d$  : l'intensité de la lumière diffractée d'un angle avec la lumière incidente

$I_o$  : l'intensité de la lumière incidente

$N$  : nombre de particules diffractantes dans le volume éclairé.

$K$  : nombre dépendant de l'indice de réfraction des particules et du liquide dans lequel elles sont en suspension.

$V$  : volume de ses particules

$\lambda$  : longueur d'onde de la lumière

#### Interférences :

La mesure de turbidité est influencée par :

- Débris ou matières rapidement décantables.
- Bulles d'air dans l'échantillon, état de la cuve de mesure et l'effet de vibrations.
- Substances solubles responsables de la coloration vraie qui absorbent la lumière.

### **IV) Détermination de la conductivité :**

La conductivité électrique d'une eau correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1 \text{ cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de  $1 \text{ cm}$ . L'unité de conductivité est le micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ).

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température.

La conductivité est généralement mesurée en micro Siemens par cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), à  $20^\circ\text{C}$ , approximativement la valeur en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  correspond à la salinité en  $\text{mg}/\text{l}$ .

On utilise également la résistivité, inverse de la conductivité, mesurée en  $\text{ohms}\cdot\text{cm}$  :

Résistivité ( $\text{ohms}\cdot\text{cm}$ ) =  $1\ 000\ 000 / \text{conductivité}$  (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

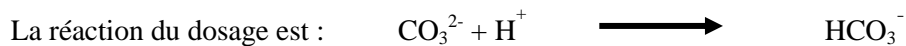
- La valeur maximale admissible (VMA) est  $2700\ \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $20^\circ\text{C}$ .

- La valeur minimale requise (VMR) est  $110\ \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $20^\circ\text{C}$ .

**V) Détermination de l'Alcalinité : Titre Alcalimétrique Simple (TA) et Titre Alcalimétrique complet (TAC) :**

Le titre alcalimétrique (TA) correspond à la neutralisation de la totalité des ions hydroxydes  $\text{OH}^-$  et à la transformation de la moitié des ions carbonates en hydrogencarbonates par un acide fort (HCl).

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$



Tandis que le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la neutralisation de la totalité des ions hydroxydes, carbonates et hydrogencarbonates par un acide fort (HCl).

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

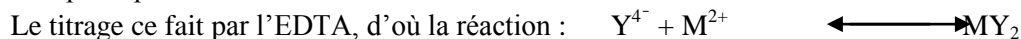
La réaction du dosage est :



**VI) Détermination de la dureté totale TH :**

Le titre hydrotimétrique est correspond à la teneur globale en sels de calcium et de magnésium, dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70à 90%.

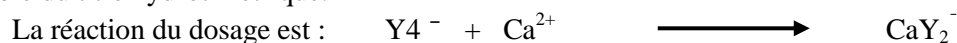
Le TH total : il correspond à la totalité des sels de calcium et de magnésium. C'est cette valeur qui est utilisé lorsqu'on parle couramment du TH de dureté de l'eau.



**1) Dosage du calcium et magnésium**

**- Ion calcium :**

Toutes les eaux des sources souterraines et superficielles naturelles, contiennent suivant la roche avec laquelle elle ont été en contact, des sels de calcium en solution. Ils représentent généralement une part considérable du titre hydrotimétrique.



**-Ion magnesium:**

On met toujours  $\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$  donc:  $[\text{Mg}^{2+}] = \text{TH} - [\text{Ca}^{2+}]$

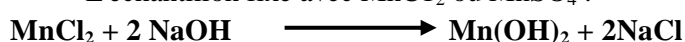
Cependant, on doit noter que ce mode de calcul introduit une erreur, car la détermination de la dureté totale comprend le dosage de la somme des concentrations des ions bivalents :  $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{Mg}^{2+}]$ ,  $[\text{Sr}^{2+}]$ ,  $[\text{Ba}^{2+}]$ ...etc.

**VII) -Dosage de l'oxygène dissous :**

Cette norme consiste à doser l'oxygène présent dans l'échantillon par ajout de 5ml de HCL concentré (ou 5ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentré) selon que l'oxygène ait été fixé par  $\text{MnSO}_4$  ou  $\text{MnCl}_2$ . On dose le tout avec le thiosulfate  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  en présence d'empois d'amidon.

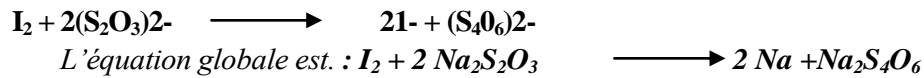
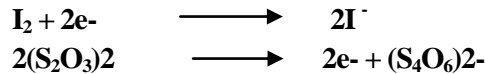
Les réactions qui se déroulent lors de cet analyse sont :

L'échantillon fixé avec  $\text{MnCl}_2$  ou  $\text{MnSO}_4$  :



L'iode est libéré en solution et peut être dosé par  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  selon la réaction suivante :





La teneur en O<sub>2</sub> dissout est exprimée en (mg/l) est donnée par la formule suivante:

$$\frac{8 \times V \times t \times 1000}{V' \times 2}$$

avec

- V : Volume versé de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- V' : Volume exact du flacon
- t : Titre de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Le nombre 2 représente le volume de l'acide sulfurique

### **INTERPRETATION DES RESULTATS :**

La valeur maximale admissible (VMA) de l'oxygène dissout est comprise entre 5 et 8mg/l.

Cette valeur est fonction de l'origine de l'eau. Par exemple les eaux souterraines ne contiennent que quelque mg/l par contre les eaux superficielles en contiennent beaucoup.

Cette différence de concentration d'O<sub>2</sub> peut être expliquée par le fait de la présence de végétation de matières organiques oxydables, des germes aérobiques ou des perturbations des échanges atmosphériques à l'interface.

### **VIII) – Détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium :**

#### **1) -Définition :**

La présence de matières organiques dans l'eau provoque l'existence et la prolifération des micro-organismes qui peuvent être pathogènes, donc la détermination de ces matières organiques est indispensable dans la surveillance de la qualité des eaux.

L'oxydabilité en milieu acide permet d'évaluer la teneur de ces matières organiques dans l'eau

L'indice de permanganate de potassium KMnO<sub>4</sub> en milieu acide et à ébullition (13 min à 100°C), des matières oxydables contenues dans l'échantillon. Cet excès est réduit par l'acide oxalique, lui-même en excès qui est titré par le permanganate de potassium.

#### **2) – Expression des résultats :**

$$I (\text{KMnO}_4) = A + B - C / C \times 8$$

Avec : A = Volume de permanganate de potassium introduit au début (en ml).

B = Volume de permanganate de potassium utilisé pour le titrage jusqu'au virage (en ml).

C = Volume de permanganate de potassium employé comme essai de témoin (en ml).

Cet indice nous renseigne sur la quantité oxydante qui oxyde l'oxygène, d'où la diminution de l'oxygène qui est indispensable au métabolisme cellulaire.

### **IX) - Dosage des chlorures Cl<sup>-</sup> :**

#### **1) généralité :**

Les chlorures sont quantitativement prépondérants dans l'eau de mer (19 g/l). La teneur en ions chlorures dépend fortement de l'origine de l'eau et de la nature du terrain. Ils contribuent à la conductibilité électrique des cours d'eau.

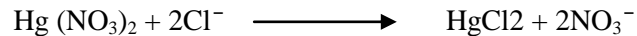
Les chlorures donnent une saveur désagréable à l'eau surtout en présence de Sodium, calcium et magnésium.

#### **2) principe :**

On détermine les chlorures dans l'eau par méthode volumétrique au nitrate mercurique Hg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Les chlorures sont dosés en milieu acide par le nitrate mercurique N/10 en Présence de l'indicateur coloré : le diphenylcarbazone.

La réaction du dosage est :



**3) Expression des résultants:**

$$[\text{Cl}^-] = n \times 3505 \text{ en mg/l}$$

Avec  $n$  : est le nombre de ml de nitrate mercurique versé lors du titrage.

**X) Détermination des fluorures  $\text{F}^-$  :**

**1)-Objet et principe :**

La concentration des fluorures dans les eaux souterraines dépend du type de formation géologique et de l'importance des précipitations. Elle est généralement plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface. Le dosage est basé sur la mesure potentiométrique de la quantité d'ions fluorures en utilisant une électrode sélective aux fluorures et une électrode de référence simple ou double fonction reliées à un électromètre.

La différence de potentiel mesurée est directement proportionnelle au logarithme de l'activité des ions fluorures présents dans l'échantillon.

Les mesures seront faites l'une après l'autre en commençant par la solution la plus diluée. Les valeurs ainsi obtenues sont portées sur des papiers semi-logarithmiques (concentration en mg/l sur l'échelle logarithmique, potentiel en millivolts sur l'échelle linéaire) et on trace la courbe d'étalonnage.

**2)-Réactifs utilisés :**

Pour déterminer la quantité d'ions fluorures présents dans l'échantillon, il est nécessaire d'utiliser les réactifs suivants :

- Solution mère de fluorure à 100 ppm, préparée à partir de la dissolution du produit NaF dans l'eau distillée. Elle est stable pendant 6 mois.
- Solution fille de fluorure à 10 ppm, préparée à partir de la solution à 100 ppm .
- Solution tampon.

**3)-Echantillonnage :**

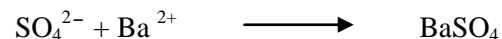
Les échantillons doivent être prélevés dans des flacons en polyéthylènes ou en verre.

**4)- Expression des résultats :**

La concentration en fluorure (en mg/l) de l'échantillon est obtenue par lecture sur la courbe d'étalonnage préalablement établie.

**XI)-Dosage des sulfates :**

Les ions sulfates sont précipités dans l'acide chlorhydrique( HCl) en présence de chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2$ ), d'une manière telle qu'ils se forment des cristaux de sulfate de baryum de taille uniforme selon la réaction suivant :



La quantité de la suspension du sulfate de baryum est mesurée soit au spectrophotomètre UV visible à 420nm soit au turbidimètre.

Le minimum de concentration détectable en sulfate est de 1mg/l.

Les résultats sont reproductibles à 5%.

**XII)-Détermination des silicates :**

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : l'état ionique et l'état colloïdal. La méthode colorimétrique s'applique à la forme ionique orthosilicate et convient pour des teneurs de quelques milligrammes par litre.

L'acide molybdique, en présence d'ions silicates à pH=1,2 ; produit une coloration jaune due au complexe silico-molybdique dont l'intensité est proportionnelle à la quantité d'ions silicates ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ), par action du molybdate d'ammonium. Après réduction en anhydride silico-molibdique, on mesure l'absorbance de la solution bleue obtenue.

**XIII)- Dosage des Nitrates :**

Les nitrates de formule  $\text{NO}_3^-$  sont des sels d'acide nitrique. La présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle.

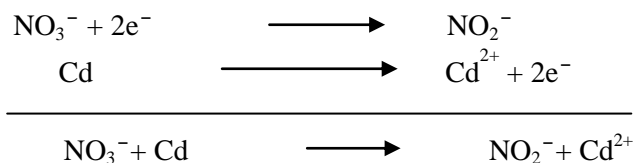
L'accroissement des teneurs en nitrate dans les ressources en eau devient de plus en plus un problème pour l'approvisionnement en eau potable. D'un point de vue sanitaire, la présence de nitrates dans l'organisme humain pourrait provoquer des troubles (hypertension, anémie, infertilité, troubles nerveux, ...), auxquels s'ajoutent des présomptions sur leur pouvoir cancérigène et leur implication dans des cas de cyanoses, notamment chez les nourrissons. Une eau chargée en nitrates (50 à 100 mg/l) est déconseillée aux femmes enceintes et aux nourrissons. Le nitrate en lui-même n'est pas très toxique. Sa toxicité vient de la chaîne de réaction : Nitrate – Nitrite-Nitrosamines dans le corps humain, le nitrate est réduit par des enzymes et par des micro-organismes en nitrite. Celui-ci peut oxyder l'hémoglobine en méthémoglobine, qui ne peut plus absorber d'oxygène.

**Présentation de la norme utilisée**

La présente norme a pour objet la description de la méthode de dosage des nitrates dans des eaux d'alimentation humaine par mesure au spectrophotomètre à la sulfanilamide après réduction en nitrites sur cadmium. Elle est applicable pour les concentrations des nitrates comprises entre 0.01 et 1 mg/l en azote nitrique. Les échantillons concentrés doivent être dilués avant l'analyse.

**Principe**

Les nitrates sont quantitativement réduits en nitrites par le cadmium (Cd) recouvert d'une couche de cuivre selon la réaction suivante :



Les nitrites produites forment avec l'acide sulfanilamique un composé diazoïque, lequel couple avec le (n-1 naphthyle diamine 1.2éthane) : NED, donnent une coloration rose caractéristique dont l'intensité est mesurée par le spectrophotomètre 540nm.

☞ La valeur maximale admissible (VMA) pour les nitrites ( $\text{NO}_3^-$ ) est de l'ordre de **50 mg/l**.

**Expression des résultats :**

Pour les échantillons non dilués on détermine la concentration en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) directement sur la courbe d'étalonnage.

Pour les échantillons dilués on détermine la concentration en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) d'après l'expression suivante :

$$C = (d \times f) / e$$

Où **C** : la concentration en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) de l'échantillons en mg/l.

**d** : la concentration en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) de l'échantillons dilué en mg/l déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

**e** : volume de l'échantillon non dilué en ml.

**f** : volume de l'échantillon dilué en ml.

Les résultats sont exprimés en mg de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) par litre avec une précision de 5%.

**XIV)- Dosage des nitrites  $\text{NO}_2^-$** 

Le dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) dans les eaux d'alimentation humaine se fait par mesure spectrophotométrique à la sulfanilamide. La méthode utilisée est applicable pour des concentrations comprises entre 1µg/l et 1000µg/l. Une dilutions est nécessaire pour les échantillon ayant des concentrations supérieures à 1mg/l. la mesure des absorbances se fait au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 540nm.

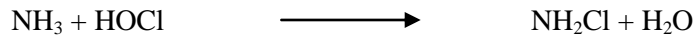
☞ La valeur maximale admissible (VMA) pour les nitrites est de l'ordre de 0,1mg/l.

**Dosage de l'ammonium  $\text{NH}_4^+$  :**

Dans la norme marocaine, le dosage d'ammonium dans les eaux d'alimentation humaine se fait par mesure spectrophotométrique au bleu d'indophénol.

Les concentrations en ammonium doivent être comprises entre  $2\mu\text{g/l}$  et  $15000\mu\text{g/l}$  en  $\text{NH}_4^+$ . Avant les analyses, les échantillons concentrés contenant plus de  $1,5\mu\text{g/l}$  en  $\text{NH}_4^+$  doivent être dilués.

Le principe du dosage est le fait qu'en milieu fortement basique où  $10,8 \leq \text{pH} \leq 11,4$ , l'ammoniac réagit quantitativement avec l'hypochlorite et donne une monochloramine selon la réaction :



Le monochloramine forme avec du phénol, en présence de nitroprussiate et un excès d'hypochlorite, du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de  $630\text{nm}$ . Les réactions probables sont les suivantes :



☞ La valeur maximale admissible (VMA) pour l'ammonium dans l'eau d'alimentation est  **$0,5\text{mg/l}$** , alors que la valeur requise (VMR) est  $0,05\text{mg/l}$ .

## ANNEXE II

### Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

(D. no 90-330 du 10 Avril 1990, art. 10.I et II, et D. no 95-363 du 5 Avril 1995, art.12)

#### A. - Paramètres organoleptiques

L'eau ne doit pas présenter :

- 1) Une coloration dépassant 15 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt.
- 2) Une turbidité supérieure à une valeur équivalente à 2 unités Jackson.
- 3) D'odeur, de saveur, pour un taux de dilution de 2, à 12 degrés C, et de 3, à 25 degrés C.

#### B. - Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux

- 1) A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, la température ne doit pas dépasser 25 degrés C.
- 2) Le pH doit être supérieur ou égal à 6,5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH ; cette obligation ne s'applique pas aux eaux conditionnées non minérales.
- 3) Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Chlorures ..... 200 mg/l (Cl)

Sulfates ..... 250 mg/l (SO<sub>4</sub>)

Magnésium ..... 50 mg/l (Mg)

Sodium ..... 150 mg/l (Na)

avec un percentile de 80

Potassium ..... 12 mg/l (K)

Aluminium total .....0,2 mg/l (Al)

(A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0,5 mg/l [Al] ne doit pas être dépassée)

- 4) La quantité de résidus secs, après dessiccation à 180 degrés C, doit être inférieure ou égale à 1 500 mg/l.

#### C. - Paramètres concernant des substances indésirables

- 1) Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Nitrates ..... 50 mg/l (NO<sub>3</sub>)

Nitrites ..... 0,1 mg/l (NO<sub>2</sub>)

Ammonium ..... 0,5 mg/l (NH<sub>4</sub>)

Azote Kjeldahl ..... 1 mg/l (en N)

N de NO<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub> exclus

- 2) L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>), mesurée après 10 minutes en milieu acide, à chaud, doit être inférieure ou égale à 5 mg/l en oxygène.
- 3) La teneur en hydrogène sulfuré doit être telle que ce composé ne soit pas détectable organoleptiquement.
- 4) La valeur de la concentration en hydrocarbures dissous ou émulsionnés, après extraction au CCl<sub>4</sub>, doit être inférieure à 10 microgrammes par litre.
- 5) La teneur en phénols doit être telle que les composés ne soient pas détectables organoleptiquement après ajout de chlore. En cas de détection, la concentration en phénols, exprimée en indice phénol C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH doit être inférieur ou égale à 0,5 microg/l, les phénols naturels ne réagissant pas au chlore étant exclus.
- 6) Pour les substances suivantes, les valeurs de concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Agents de surface réagissant au bleu de méthylène ..... 200 microg/l exprimés en lauryl-sulfate

Fer .....	200 microg/l (Fe)
Manganèse .....	50 microg/l (Mn)
Cuivre .....	1 mg/l (Cu)
Zinc .....	5 mg/l (Zn)
Phosphore .....	5 mg/l (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Argent .....	10 microg/l (Ag)

7) La teneur en fluor doit être inférieure à 1 500 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 8 degrés C et 12 degrés C et à 700 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 25 et 30 degrés C. Pour les températures moyennes comprises entre 12 et 25 degrés C, la teneur limite en fluor est calculée par interpolation linéaire.

#### **D. - Paramètres concernant des substances toxiques**

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées :

Arsenic .....	50 microg/l (As)
Cadmium .....	5 microg/l (Cd)
Cyanures .....	50 microg/l (CN)
Chrome total .....	50 microg/l (Cr)
Mercure .....	1 microg/l (Hg)
Nickel .....	50 microg/l (Ni)
Plomb .....	50 microg/l (Pb)
Antimoine .....	10 microg/l (Sb)
Sélénium .....	10 microg/l (Se)

Hydrocarbures polycycliques aromatiques :

pour le total des 6 substances suivantes ..... 0,2 microg/l

Fluoranthène,

Benzo (3,4) fluoranthène,

Benzo (11,12) fluoranthène,

Benzo (3,4) pyrène,

Benzo (1,12) pérylène,

Indéno (1,3 c-d) –pyrène

Benzo(3,4) pyrène ..... 0,01 microg/l.

#### **E. - Paramètres microbiologiques**

- 1) L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 ml d'eau prélevée, de " bactériophages fécaux dans 50 ml d'eau prélevée " et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée.
- 2) 95 % au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes dans 100 millilitres d'eau.
- 3) L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermotolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.
- 4) L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfito-réductrices par 20 ml d'eau prélevée.
- 5) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables, à 37 degrés C et après vingt-quatre heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée ; à 22 degrés C et après soixante-douze heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse est commencée dans les douze heures suivant le conditionnement.
- 6) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, l'eau ne doit pas contenir de *Pseudomonas aeruginosa* dans 100 ml. "

### **F. - Pesticides et produits apparentés**

Pour les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T., les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

- 1) Par substance individualisée : 0,1 microg/l, à l'exception des substances suivantes :
- 2) Aldrine et dieldrine : 0,03 microg/l ;
- 3) Heptachlore et époxyde d'heptachlore : 0,03 microg/l.
- 4) Pour le total des substances mesurées : 0,5 microg. /l.

### **G. - Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine**

Les eaux adoucies livrées à la consommation humaine doivent satisfaire, en outre, aux exigences suivantes :

- 1) La dureté totale ne doit pas être inférieure à 15 degrés français.
- 2) L'alcalinité ne doit pas être inférieure à 2,5 degrés français.

Ces dispositions ne sont pas applicables aux eaux adoucies ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude..

ANNEXE III –

Résumé :

RENDRE L'EAU POTABLE

Le traitement des eaux s'effectue dans des usines et débute par un pompage en nappe ou en rivière. Le schéma classique de traitement comprend six étapes :

**a) Dégrillage et tamisage**

Les débris et les déchets solides, plus ou moins volumineux, sont retenus par des grilles ou des tamis qui sont plus fins.

**b) Floculation et décantation**

Sous l'action d'un réactif, les particules en suspension, non retenues par les tamis, forment des flocons (floculation), plus gros et plus lourds, qui se déposent par décantation.

**c) Filtration sur sable ou nanofiltration**

L'eau traverse une couche de sable ou un nanofiltre qui retient les dernières particules en suspension.

**d) Ozonation**

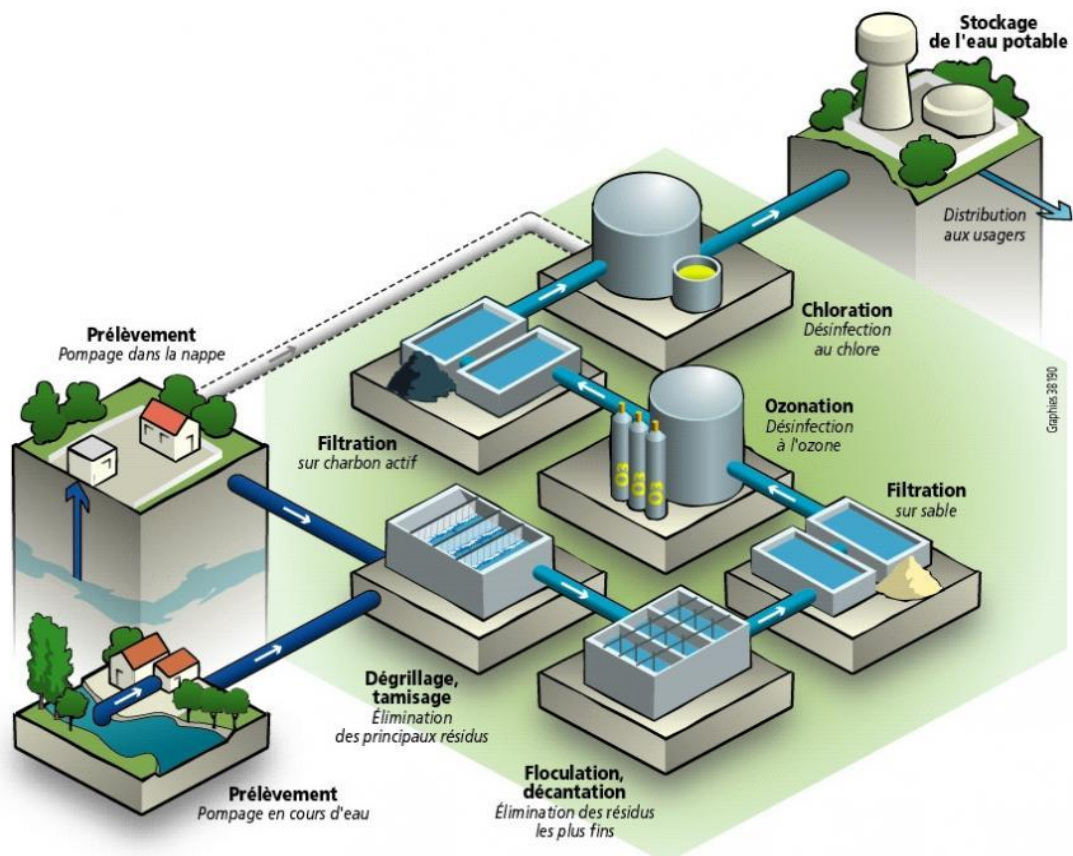
Pour détruire les virus et les bactéries, on fait agir un oxydant puissant : l'ozone.

**e) Filtration sur charbon actif**

L'eau traverse un filtre qui retient les matières organiques responsables d'odeurs et de goût désagréables.

**f) Injection de chlore**

Une petite quantité (1 goutte pour 1000 L) d'un désinfectant puissant, le chlore, est ajouté à l'eau pour détruire tous les germes et surtout la protéger pendant son trajet futur.





## **PARTIE 2 : TRAITEMENTS DES EAUX USÉES**

### Introduction

Les eaux usées proviennent des diverses activités humaines domestiques ou professionnelles. Ces eaux chargées de pollution nécessitent un traitement particulier, avant qu'elles soient déversées.

Les eaux usées ne doivent pas être libérées dans la nature sans traitement au risque de mettre en danger la vie aquatique. Ainsi, la mise en place d'une station de traitement et d'épuration est de rigueur afin que les eaux souillées ne soient plus une menace pour l'environnement

Les eaux usées de nos maisons sont évacuées dans l'égout par un réseau de canalisations complexe. Ce réseau d'eaux usées collecte aussi parfois les eaux pluviales. Cependant, dans certains pays comme le Canada, il est interdit de concevoir un réseau d'égouts d'eaux usées qui collecte également les eaux pluviales.

Le réseau d'égouts se compose de plusieurs collecteurs et de plusieurs branchements avant de rejoindre la station d'épuration.

L'eau est salie après usage : si elle n'est pas traitée avant de rejoindre le milieu naturel, elle peut lui causer de graves dommages comme la destruction partielle ou totale de la faune et de la flore.

### **I- Généralités ; Définition des eaux usées**

Les eaux usées sont des eaux chargées en éléments polluants qui résultent de l'activité humaine.

En effet en tant qu'habitant, on produit des eaux usées domestiques. Il s'agit principalement des eaux usées domestiques et des eaux usées industrielles, mais elles peuvent aussi avoir une origine agricole, artisanale ou autre ;

Il peut également s'agir d'eaux polluées provenant des eaux pluviales ou d'eau de ruissellement

L'eau usée est le synonyme de l'eau résiduaire. Les eaux usées domestiques se composent des eaux vannes d'évacuation des toilettes, des eaux ménagères d'évacuation des cuisines et salles de bains. Les déchets présents dans ces eaux souillées sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Les réseaux d'eaux usées aboutissent à des stations d'épuration où les eaux sont traitées

### **II- Pourquoi devons nous traiter les eaux usées ?**

L'eau est altérée par l'activité humaine qu'elle soit domestique, industrielle, artisanale, agricole... En effet, après usage, l'eau est dite « polluée » et se doit d'être traitée avant de rejoindre le milieu naturel. On doit penser au traitement de l'eau usée pour deux raisons principales. En plus de préserver l'environnement, on peut aussi diminuer la consommation d'eau en pensant à réutiliser l'eau usée traitée.

#### **I- Préserver l'environnement et la santé publique**

L'urbanisation, l'évolution de l'industrie ainsi que l'agriculture intensive s'accompagnent d'un énorme volume de rejets d'eaux usées, chargées d'impuretés et de toxines. Le processus d'épuration naturelle ne suffit plus, et les cours d'eau sont de plus en plus pollués.

Le traitement des eaux usées s'impose ainsi pour protéger la santé publique et l'environnement.

Si on rejette directement l'eau usée sans aucun traitement, dans la nature, elle pourrait causer de graves dommages car la capacité naturelle d'épuration des cours d'eau a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière. Ce qui n'est pas sans conséquences sur la flore et la faune aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable et les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates favorise le phénomène d'eutrophisation, soit la prolifération d'algues nuisible à la faune aquatique, pouvant rendre la baignade dangereuse et perturber la production d'eau potable

*L'objectif de la station d'épuration n'est pas de rendre l'eau potable mais acceptable par la nature. Les eaux sales provenant des égouts sont tout d'abord filtrées pour éliminer les débris. En les laissant ensuite reposer, on peut facilement récupérer les graisses qui flottent et les particules solides qui coulent. Il ne reste qu'à introduire des bactéries dans les bassins. Elles vont se nourrir des derniers déchets avant de couler. L'eau, enfin propre, peut retourner à la nature.*

Le traitement des eaux usées réduit significativement la quantité d'eaux polluées rejetées dans la nature, limitant ainsi leur impact sur l'environnement et la santé publique. Ce procédé permet également de préserver les ressources naturelles, puisque ces effluents liquides sont purifiés et réutilisés.

## **II- Réutilisation des eaux usées après traitement**

*Près de 3 milliards de terriens ne disposent pas d'un système d'assainissement de l'eau. En France, 60% des communes nettoient leurs eaux sales dans les stations d'épuration. En Afrique et en Asie, les eaux usées sont souvent déversées dans la nature... là où se baignent les enfants : choléra et typhoïde y creusent leur lit.*

Selon l'Organisation mondiale de la Santé, la quantité d'eaux usées recyclées dans le monde atteint 40 millions de mètres cubes par jour. Les secteurs concernés sont :

### **1) L'agriculture**

L'agriculture, étant le secteur le plus gourmand en eau, réutilise ses eaux usées pour l'irrigation des cultures.

### **2) L'industrie**

Les eaux usées sont également réutilisées par les entreprises industrielles dans les chaudières, les systèmes de refroidissement, le nettoyage des équipements, etc.

### **3) Milieu urbain**

Les eaux recyclées peuvent aussi avoir des utilisations urbaines non alimentaires. Elles servent par exemple à irriguer les espaces verts, alimenter les fontaines en eau, nettoyer les rues, éteindre les incendies, etc.

Le traitement des eaux usées ne concerne pas la production de l'eau potable, sauf dans deux pays au monde : Singapour et la Namibie (Windhoek).

## **III- Les différentes sortes d'eau usées**

L'ensemble des activités humaines produit des eaux usées

On distingue trois "familles" d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles et les eaux pluviales et de ruissellement. Quelles sont leurs différences et leurs particularités ?-

L'eau est altérée par l'activité humaine qu'elle soit domestique, industrielle, artisanale, agricole... En effet, après usage, l'eau est dite « polluée ». Ces eaux chargées de pollution nécessitent un traitement particulier, et se doit d'être traitée avant qu'elles soient déversées dans le milieu naturel..

Sans cela, elle pourrait causer de graves dommages car la capacité naturelle d'épuration des cours d'eau a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière. Ce qui n'est pas sans conséquences sur la flore et la faune aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable et les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates favorise le phénomène d'eutrophisation, soit la prolifération d'algues nuisible à la faune aquatique, pouvant rendre la baignade dangereuse et perturber la production d'eau potable

### **A) Les eaux usées domestiques**

Les eaux usées domestiques proviennent des installations sanitaires de l'habitation. Elles sont essentiellement, porteuses de pollution organique :

Elles sont divisées en deux catégories :

**i. Les eaux ménagères**

Les eaux ménagères, appelées aussi eaux grises, (salles de bains et cuisines machine à laver)... Ce sont des eaux chargées de détergents et de savons mais aussi de graisses, provenant de la vaisselle et déchets de la nourriture.

**ii. Les eaux vannes**

Les eaux vannes ou eaux noires (rejets des toilettes) sont les eaux chargées de matières fécales et d'urine, issues des toilettes. Ces eaux contiennent aussi des germes pathogènes.

**Exemple type de pollution journalière par personne\***

Quantité (gramme)	type de pollution
90	matières organiques ou minérales (en suspension dans l'eau sous forme de particules)
57	matières oxydables
15	matières azotées
4	phosphore (issus des détergents)
0,23	résidus de métaux lourds (plomb, cadmium, arsenic, mercure...)
0,05	composés (fluor, chlore, brome, iode...)
1 à 10 milliards de germes par 100 ml	
* Pour une personne utilisant 150 à 200 litres d'eau en une journée	

**B) Les eaux usées industrielles**

Très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre.

En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir :

- des produits toxiques
- des solvants
- des métaux lourds
- des micropolluants organiques
- des hydrocarbures...

Certaines de ces eaux usées font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte.

**III- Les eaux pluviales et de ruissellement**

Les eaux de pluie ne sont pas dépourvues de pollutions et peuvent constituer une cause de dégradations importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. Ces eaux se chargent :

- ❖ d'impuretés, au contact de l'air (fumées industrielles, résidus de pesticides...),
- ❖ de résidus déposés, en ruisselant sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...).

Lorsque le système d'assainissement est dit « unitaire », les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations de dépollution peuvent imposer un déversement (délestage) de ce « mélange » très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution. Les eaux pluviales peuvent être collectées en même temps que les eaux usées domestiques ou bien séparément. On parle alors de réseau unitaire ou séparatif.

**IV- - Les étapes de traitement des eaux usées****A) Généralités sur les traitements des eaux usées**

L'urbanisation a fait que l'homme pollue de plus en plus son environnement. Pour réparer ses méfaits, il a conçu des systèmes assez complexes dont le traitement des eaux usées, souillées par l'homme

Ces eaux contiennent des hydrocarbures et autres éléments chimiques polluants qui contraignent à un traitement de l'eau afin de la rendre de nouveau propre. Elles sont la plupart du temps expédiées à travers les égouts, au terme desquels elles passeront à travers une station ou un centre de traitement. Ces derniers purifient l'eau avant de la rejeter dans la nature, de telle sorte que l'impact de l'Homme sur l'eau soit le plus neutre possible.

On conçoit le traitement selon la nature de l'eau usée : domestique, industrielle ou pluviale.

a) Deux traitements des eaux usées domestiques :

- La fosse septique pour traiter les eaux vannes. Elle n'est plus autorisée, et ne concerne que les habitations anciennes.
- La fosse toutes eaux pour traiter toutes les eaux usées domestiques : eaux ménagères et eaux-vannes.

b) **Eaux usées industrielles**

Les caractéristiques des eaux industrielles varient selon l'activité de l'entreprise en question. Elles sont généralement chargées de matières organiques, phosphorées ou azotées, et peuvent également contenir des substances toxiques.

Les eaux industrielles dangereuses pour la santé et l'environnement font l'objet d'un prétraitement avant leur évacuation dans les réseaux de collecte.

c) **Eaux pluviales**

Au contact de l'air et des ruisseaux, les eaux pluviales cumulent des impuretés, et peuvent donc engendrer la dégradation des cours d'eau.

En ce qui concerne leur évacuation, ces eaux peuvent être mélangées ou non avec les eaux ménagères, on parle de système d'assainissement unitaire ou séparatif.

## **B) Les différentes étapes de traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration**

Ces traitements, sont une chaîne de 4 phases qui peuvent être effectuées de différentes manières. Elle comprend le prétraitement ou traitements primaires, puis les traitements secondaires et parfois un traitement tertiaire (traitement complémentaire ou affinage) et on finit par le traitement des boues produites.

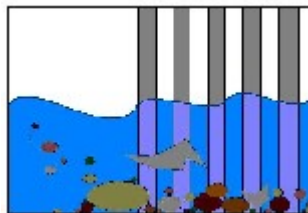
1) **Les traitements primaires**

Ils permettent d'éliminer les matières en suspension (déchets, sables, etc.) et les huiles de l'eau.

Ce traitement comprend plusieurs opérations :

a) **Le dégrillage**

Le dégrillage retient, par des grilles, les gros déchets (papiers, bois, plastiques, chiffons, #etc.). C'est en fait une opération de filtrage à grande échelle.



Les eaux usées en provenance des foyers sont dirigées vers la station d'épuration via les réseaux d'assainissement. Dès qu'elles arrivent à la station, elles passent par un dégrilleur, un tamis qui filtre les matières inertes et grossières comme les plastiques, les chiffons, les branches ou encore les feuilles mortes. Les grilles sont ensuite nettoyées et les déchets sont envoyés vers les ordures ménagères.

b) **Le tamisage**

Le **tamisage** peut compléter cette phase de prétraitement. En effet, le dégrillage est parfois suivi du tamisage pour récupérer les déchets de plus faibles dimensions



Source : Ecole de l'eau

### c) Le dessablage

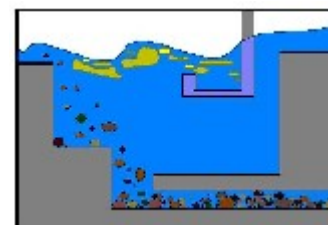
Le **dessablage** débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. Il retire les matières abrasives de l'eau comme la terre et le sable qui sont susceptibles d'endommager les pompes ou de créer des dépôts dans les bassins.

Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage.

### d) Le dégraissage ou déshuilage

Le dégraissage vise à éliminer la présence de graisses dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite.

Les eaux passent par la suite dans un second bassin et les graisses sont récupérées en surface. Afin que ces deux opérations se déroulent dans les meilleures conditions, les bassins sont équipés de pompes aératrices et d'un pont automoteur.



Le dégraissage favorise, par injection de bulles d'air, la flottation des huiles et graisses qui sont retirées par raclage de la surface de l'eau.

Si les pompes optimisent la remontée des corps flottants et des graisses à la surface, le pont automoteur racle cette surface afin pousser les déchets sur les bâches de pompage. Les déchets récupérés sont évacués et attendent un traitement ultérieur.

### e) La décantation primaire

La décantation primaire permet aux matières en suspension de se déposer par simple gravité au fond des bacs sous forme de boues.

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires ». Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension et réduit d'environ 30 % la DBO et la DCO.



Source : Ecole de l'eau

-L'utilisation d'un **décanteur lamellaire** permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère le processus de dépôt des particules. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70 % des matières en suspension et diminue de plus de 40 % la DCO et la DBO.

Les bassins sont équipés d'un pont automoteur et de pompes aératrices. Ces pompes, installées le long de chaque ouvrage, diffusent de fines bulles d'air qui favorisent la remontée des graisses et corps flottants en surface.

Le pont automoteur assure un raclage de surface pour pousser les flottants sur des goulottes et bâches de pompage.

Les produits récupérés sont évacués en vue d'un traitement ultérieur. (Traitement des boues) Les eaux sont alors évacuées et continuent leur assainissement dans la station

#### f) Les réactions du traitement physico-chimique

La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une **floculation** préalable. La **coagulation-floculation** permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension et 75 % de la DBO. .

On provoque la coagulation avec des sels métalliques ( $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ). Ils ont des charges positives et se lient aux particules à charges négatives. Cela forme des particules un peu plus grosses et surtout neutres, qui vont donc arrêter de se repousser les unes les autres.

Ensuite, la floculation consiste à ajouter des polymères qui vont jouer le rôle de colle entre les éléments tellement petits qu'ils ne pouvaient pas couler assez vite.

#### Réactifs utilisés

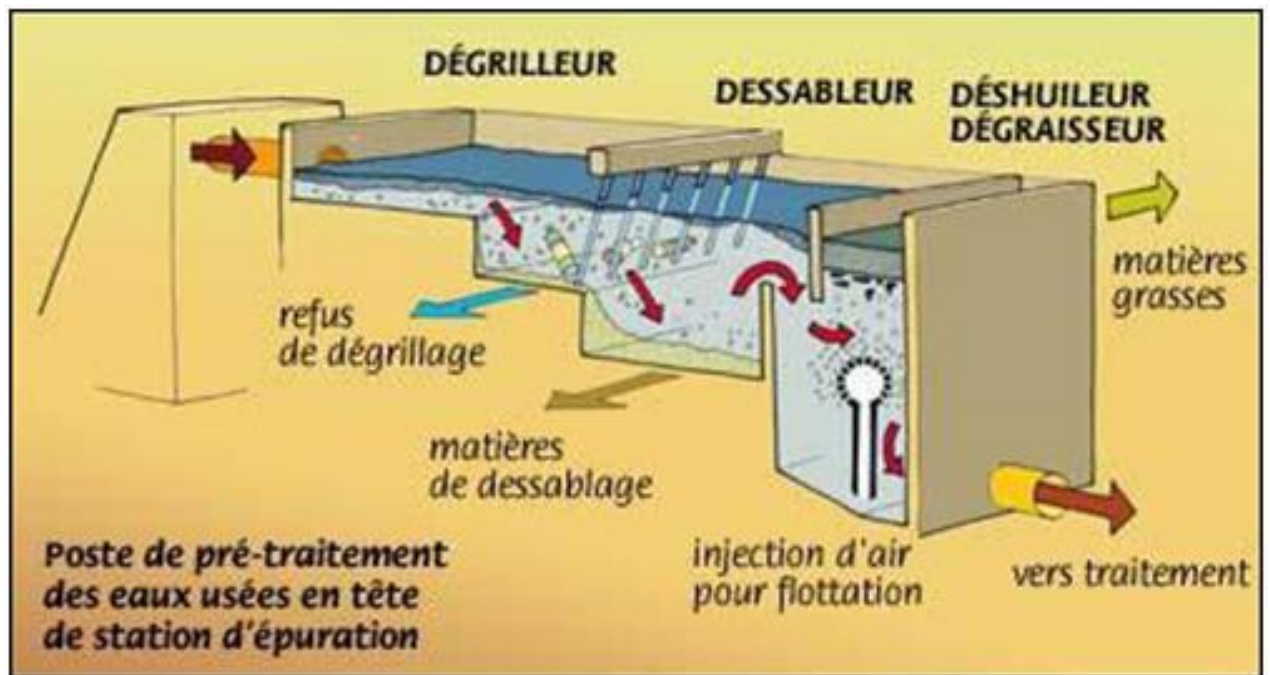
– Coagulation

- $Al_2(SO_4)_3$  : 15-300 mg/L
- $FeCl_3$  : 5-300 mg/L
- $FeSO_4$  : 15-300 mg/L
- Cations organiques : mélanine formol, épichlorhydrine, polychlorure de diméthylamine 5-50 mg/L

– Floculation

- Minéraux : silice, argile, poudre de charbon actif
- Organique : alginates, amidons, polyacrylamide, polyacrylate

A la fin de cette étape, on obtient des boues primaires ou des boues physico-chimiques, voir des boues mixtes si la station utilise les deux méthodes.



### Les étapes du pré-traitement.

Source : ADEME.

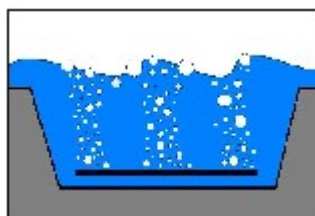
#### 2) Les traitements secondaires

Les traitements secondaires éliminent les matières en solution dans l'eau (matières organiques, substances minérales).

Il se fait le plus souvent de manière « biologique », mais une voie « **physico-chimique** » peut la remplacer ou s'y ajouter. Le traitement physico-chimique permet une meilleure coagulation des boues et favorise notamment la fixation des phosphates provenant des engrais ou des activités agricoles. Le traitement secondaire comprend l'oxygénation (de l'oxygène est inséré dans l'eau pour la défaire des substances grasses restantes) et la décantation secondaire (qui permet d'extraire une deuxième quantité de boue).

#### Le traitement biologique.

Il s'agit de la phase clé du traitement des eaux usées, car elle permet de reproduire le processus naturel existant dans les rivières, mais en mode accéléré. A ce stade, les eaux arrivent dans un bassin où sont développées des cultures de micro-organismes.



Cette phase vise en particulier les éléments eutrophisants comme l'azote et le phosphore, sans oublier le carbone, constituant de base des matières organiques. On reproduit artificiellement ou non le phénomène naturel d'autoépuration de l'eau grâce à des bactéries. C'est la présence des différents polluants qui favorise le développement des bactéries adaptées à leur dégradation.

Sous l'action d'un apport d'air, les micro-organismes se reproduisent très rapidement et des bactéries sont déjà développées. Ces dernières digèrent les impuretés pour les transformer en boues. Elles se nourrissent de la

pollution organique et du dioxygène de l'air. Cette technique de traitement peut se réaliser sans oxygène ou avec oxygène

Certaines sont aérobies, c'est-à-dire qu'elles ont besoin d'oxygène pour vivre et remplir leur tâche, donc pour accélérer le processus, on peut aérer l'eau. On utilise aussi des bactéries anaérobies (qui n'ont pas besoin d'oxygène) pour certaines réactions.

Les disques biologiques sont placés en série sur des axes en rotation lente, partiellement immergés pour être aussi en contact avec l'air.



*Les disques biologiques sont placés en série sur des axes en rotation lente, partiellement immergés pour être aussi en contact avec l'air.*

*Photo : R&O.*

Il y a deux types de méthodes :

- **les cultures libres**, où les bactéries évoluent librement dans l'eau, par exemple les boues activées ou le lagunage,
- **les cultures fixes**, où les bactéries sont fixées sur un support, par exemple les disques biologiques, les filtres à sable ou les lits bactériens. Dans les lits bactériens, les pores de la pouzzolane servent de refuges aux bactéries épuratrices. Il y a aussi des cultures fixées sur des supports fins, par exemple les filtres à sable biologiques.



*La pouzzolane est une roche volcanique.*

*Photo : wikipédia*

Le traitement secondaire s'achève par une dernière décantation, on récupère alors les boues essentiellement composées de bactéries. Dans le cas des boues activées, une partie de ces boues de décantation est remise en amont pour apporter la population de bactéries nécessaires dans les cuves d'aération. Les phases de traitement primaire et secondaire produisent des boues d'épuration à très forte teneur en eau. Après un traitement visant pour l'essentiel à baisser leur teneur en eau et à stabiliser les boues primaires (par fermentation ou par compostage), les boues d'épuration liquides, pâteuses, solides ou sèches sont envoyées à leur destination finale : l'épandage agricole, la mise en décharge ou l'incinération.





*Boues d'épuration stockées dans un silo après traitement.*

*Photo : www.techno-science.net*

### 3) Traitement tertiaire (traitement complémentaire ou affinage)

Le traitement tertiaire consiste essentiellement en une désinfection de l'eau juste avant rejet, parfois aussi en un affinage préalable du traitement précédent. Il est effectué de manière très variable, allant d'un simple ajout d'eau de javel ou de chlore justement dosé à un passage sous des lampes à UV. Certains encore utilisent de l'ozone (un gaz fabriqué sur place car il est instable), d'autres stockent l'eau dans des bassins peu profonds favorisant l'action du soleil.

### 4) La clarification

C'est la dernière étape de l'épuration et du traitement.

Le procédé consiste à séparer l'eau des boues formées suite à la dégradation des matières organiques. Cette technique de décantation est appliquée dans des « clarificateurs », des bassins spéciaux. Au terme de la clarification, les boues se déposent au fond de l'eau et sont par la suite évacuées. Après cette étape, l'eau est débarrassée à 90% des polluants. Elle est analysée puis contrôlée avant d'être libérée dans le milieu naturel.

Cette technique de décantation est appliquée dans des « clarificateurs », des bassins spéciaux. Au terme de la clarification, Elle permet de recueillir donc sous forme de boues les matières polluantes agglomérées par les micro-organismes.. Après cette étape, l'eau est débarrassée à 90% des polluants.

Les éléments récoltés lors des différents traitements forment les boues.

L'eau peut alors être rejetée à la rivière qui achève de résorber la pollution grâce au processus de l'épuration naturelle

### 5) La désinfection

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. Des procédés d'élimination supplémentaires sont donc employés lorsque les eaux traitées sont rejetées en zone de baignade ou de pisciculture.

Le **chlore** est le désinfectant le plus courant. Mais la désinfection peut également s'effectuer avec l'**ozone** ou le **brome**, voire le **dioxyde de chlore**.

### 6) Les traitements complémentaires

#### a) L'élimination de l'azote

Les stations d'épuration prévues pour éliminer les matières carbonées n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place.

L'azote organique se transforme dans les eaux usées en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de « **nitrification-**

**dénitrification** ». La nitrification consiste en une transformation, par des cultures bactériennes, de l'azote ammoniacal en nitrates ( $\text{NO}_3$ ), une forme oxydée de l'azote. Une seconde phase, la **dénitrification**, complète le processus. Les nitrates, sous l'action de bactéries « dénitrifiantes », sont transformés en azote gazeux. Ce gaz s'échappe alors dans l'atmosphère.

#### b) L'élimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou « **déphosphatation** », peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.

En ce qui concerne les **traitements physico-chimiques**, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues.

La **déphosphatation biologique** consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Le rendement moyen est d'environ 60 %.

#### 7) Le traitement des boues

Les boues récupérées de la décantation, le traitement biologique et la clarification, doivent être traitées.

Une station d'épuration produit 2 litres de boue résiduaire par habitant et par jour. Il existe deux façons de les traiter le but étant de réduire leur volume et de les stabiliser.

La première est l'élaboration du compost en y incorporant de la paille ou de la sciure : Fabrication d'engrais pour l'agriculture.

La deuxième est l'incinération : on les brûle.



Source : Ecole de l'eau

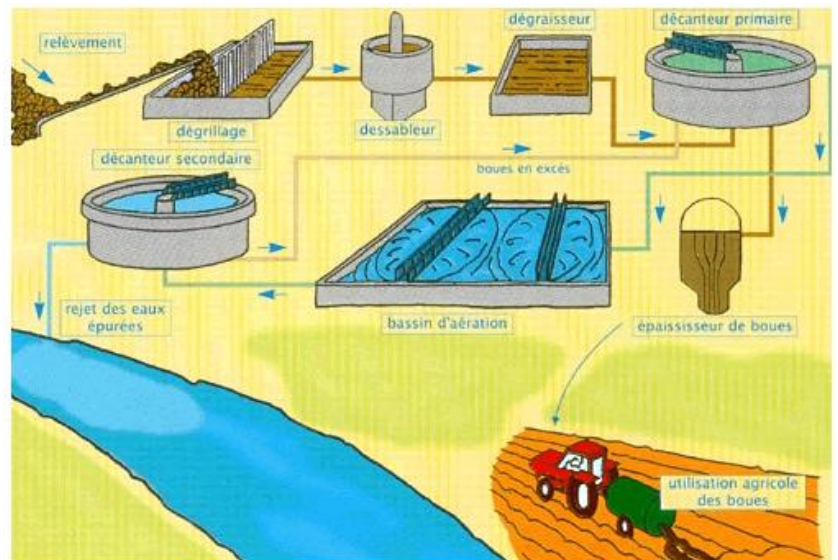
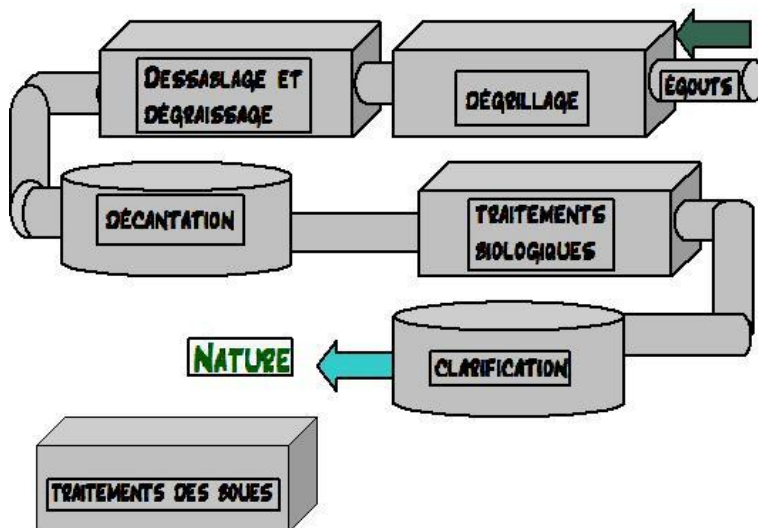


Schéma qui résume bien les grandes étapes du traitement des eaux usées



## 8) Procédés rustiques d'épuration

### a) Utilisation de procédé « naturel » : Lagunage naturel

– Principe

- aération libre
- culture libre : algues, bactéries, roseaux
- séjour long (semaines)

– Réalisation / 3 bassins allongés, peu profonds (1 m), reliés par des canalisations

– 15 m<sup>2</sup> / habitant

– Type d'applications

- rural: 100-1000 hab

### b) Lagunage aéré

„ 2 bassins allongés + aération à turbines

– 3,5 m<sup>2</sup> / habitant

- Rustique extensif, lagune plus profonde (2,5 m)

- 300 à 2000 ha