

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider- Biskra

Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et la Vie

Département des Sciences de la Matière



Polycopie de cours en

CHIMIE

1^{ère} année licence Gestion des Techniques Urbaines

Dr. BOUSSEHEL HAMIDA

Maitre de conférences B

2018/ 2019

PREFACE

L'objectif de ce document pédagogique est de permettre aux étudiants de première année licence LMD en sciences de la terre et l'univers d'acquérir certaines notions fondamentales en chimie générale et la chimie des eaux.

La polycopie est répartie en cinq chapitres :

- Le premier chapitre comporte initiation à la chimie avec un rappel de quelques définitions sur l'atome, sa configuration électronique, la classification périodique des éléments chimiques, et les réactions d'oxydoréduction.
- Le deuxième chapitre présente les principaux substances solubles et en suspension dans les eaux de surface.
- Dans le troisième chapitre montre les différentes formes de pollution des eaux et les conséquences.
- Compte tenu l'importance de l'eau dans la vie, il a été décidé de consacrer le quatrième chapitre pour définir les paramètres de contrôles de la désinfection de l'eau potable, cela est étroitement lié au chapitre cinq qui sera destiné aux étapes fondamentales d'épuration des eaux potables.

Je tiens à remercier les collègues qui ont bien voulu juger le manuscrit et m'aider à l'améliorer.

Il est possible que cette première version comporte quelques imperfections, je serais reconnaissant à tous ceux qui me feraient part de leurs remarques et suggestions.

Table de matière

CHAPITRE I : Rappel et Initiation à la chimie

I.1. Atome et molécule	01
I.1.1. Structure de l'atome (Le noyau et les électrons)	01
I.1.2. La molécule	04
I.2. Configuration électronique de l'atome	04
I.2.1. Couches et sous-couches électroniques	04
I.2.2. Répartition des électrons	05
I.3. Tableau périodique des éléments	07
I.3.1. La classification périodique des éléments	07
I.3.2. Caractérisations atomiques et périodicité	09
I.4. Réaction d'Oxydoréduction	10
I.4.1. Couples « oxydant / réducteur » ou couple « Redox »	10
I.4.2. Classification électrochimique des couples « Redox »	11
I.4.3. Réaction d'oxydo-réduction (ou réaction redox)	13
Exercices	15

CHAPITRE II : Principaux substances solubles et en suspension dans les eaux de surface

II.1 Propriétés physiques de l'eau	20
II.1.1. Masse volumique	20
II.1.2. Température	20
II.1.3. Conductivité de l'eau	20
II.1.4. Le Potentiel d'hydrogène (pH)	20
II.1.5. La turbidité	21
II.1.6. La viscosité	21
II.1.7. La tension superficielle	21
II.2. Propriétés chimiques de l'eau	21
II.2.1. Solvant	21
II.2.2. Matières en suspension (MES)	22
II.2.3. Titre alcalimétrique	22

II.2.4. Titre hydrotimétrique TH (la dureté de l'eau)	23
II.2.5. Titre en acides forts (TAF)	23
II.2.6. Titre en sels d'acides forts (SAF)	24
II.2.7. Carbone organique total (COT)	24
II.3. Les eaux naturelles	24
II.3.1. Aperçu général du contenu des eaux naturelles	24
II.3.2. Propriétés organoleptiques	25
II.3.3. Cations majeurs et mineurs des eaux naturelles	26
II.3.4. Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles	27
II.4. Les eaux de consommation	28
II.4.1. L'eau du robinet	28
II.4.2. L'eau minérale	28
II.4.3. L'eau de source	29
Exercices	31

CHAPITRE III : Eaux de surface et pollution

III.1. Les différentes formes de pollution des eaux	34
III.1.1. Les pollutions d'origine naturelle	34
III.1.2. Les pollutions d'origine atmosphérique	34
III.1.3. Les pollutions d'origine urbaine	35
III.1.4. Les pollutions d'origine industrielle	35
III.1.5. Les pollutions d'origine agricole	36
III.1.6. La pollution d'origine biologique	36
III.2. Conséquences de la pollution des eaux	36
III.2.1. Conséquences sanitaires	36
III.2.2. Conséquences écologiques	36
III.2.3. Conséquences économiques	37

CHAPITRE IV : Bases théoriques des principaux procédés de traitement

IV.1. Les normes	39
IV.1.1. Les valeurs guides	39
IV.1.2. Les limites de qualité de l'eau de robinet	39
IV.1.3. Les références de qualité	40
IV.2. Contrôles de la désinfection	43
IV.2.1. Les paramètres organoleptiques	43

IV.2.2. Les paramètres physico-chimiques	43
IV.2.3. Les paramètres concernant les substances « indésirables »	44
IV.2.4. Les paramètres concernant les substances toxiques	44
IV.2.5. Les paramètres microbiologiques	44
IV.2.6. Les paramètres concernant les eaux adoucies et déminéralisées	47

CHAPITRE V : Les étapes fondamentales d'épuration des eaux potables

V.1. Les procédés de traitement physique	49
V.1.1. Dégrillage et tamisage	49
V.1.2. Flocculation et décantation	50
V.1.3. Filtration	51
V.2. Les procédés de traitement chimique	53
V.2.1. Ozonation	54
V.2.2. La désinfection	55
V.3. procédés de traitement physico-chimique	56
V.3.1. Coagulation et flocculation	56
V.4. Les procédés de traitement biologique	57
V.4.1. Filtration sur charbon actif	57

Références

Annexes

CHAPITRE I

Rappel et Initiation à la chimie

Rappel et Initiation à la chimie

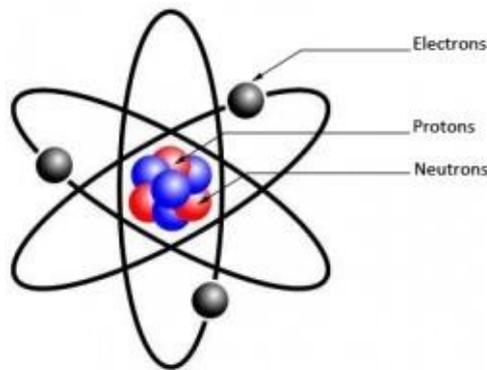
I.1. Atome et molécule

Dans l'Antiquité, l'atome a été considéré comme la particule élémentaire de la matière (Démocrite). Cette théorie était seulement due à des intuitions et non à des théories ou observations expérimentales. Il a fallu attendre la fin du XIX^e siècle pour que cette théorie soit confirmée par des expériences qui permirent de mettre en évidence l'existence de particules constitutives de l'atome : les électrons.

I.1.1. Structure de l'atome (Le noyau et les électrons)

Les atomes sont constitués d'un noyau très dense, chargé positivement, entouré d'électrons (charge électrique négative).

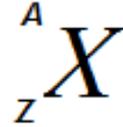
Le noyau est constitué de deux types de particules (protons et neutrons) appelées nucléons.



	Charge électrique	Masse
Noyau {	Proton : $q = +1.602 \times 10^{-19} C$	$m_p = 1.6726 \times 10^{-27} Kg = 1836m_e$
	Neutron : $q = 0$	$m_n = 1.6749 \times 10^{-27} Kg = 1839m_e$
Electron	$q = -1.602 \times 10^{-19} C$	$m_e = 9.1094 \times 10^{-31} Kg$

Un nucléide est une espèce atomique symbolisée par :

- Z : numéro atomique \Rightarrow nombre de protons
- A : nombre de masse \Rightarrow nombre de nucléons,



$$A = Z + N$$

D'où le nombre de neutrons :
$$N = A - Z$$

Des nucléides ayant le même nombre de protons (même Z) correspondent au même élément. Ils portent le même nom.

Exemple : Magnésium ${}^{24}_{12}\text{Mg}$, ${}^{25}_{12}\text{Mg}$, ${}^{26}_{12}\text{Mg}$, Azote ${}^{13}_7\text{N}$, ${}^{14}_7\text{N}$, ${}^{15}_7\text{N}$

Les isotopes d'un élément sont des nucléides ayant le même numéro atomique Z , mais des nombres de masse A différents.

Exemple : ${}^1_1\text{H}$: hydrogène et ${}^2_1\text{H}$: deutérium

Les isotopes ne doivent pas être confondus avec :

- les isotones, nucléides ayant le même nombre de neutrons mais un nombre de protons différent ($Z \neq Z'$ mais $N = N'$) ;
- les isobares, nucléides ayant des nombres de protons différents, des nombres de neutrons différents, mais des nombres de masse identiques ($Z \neq Z'$, $N \neq N'$, mais $Z + N = A = A' = Z' + N'$).
- les isomères, nucléides ayant le même nombre de protons Z et le même nombre de neutrons N (donc aussi le même nombre de masse A), mais pas le même spin ni le même niveau énergétique.

I.1.1.1. Masse atomique réelle

La masse d'un atome réel : s'exprime en kg ou en u.m.a (unité de masse atomique).

L'isotope ${}^{12}_6\text{C}$ sert de référence: on postule qu'un atome réel qui pèse 1.99625×10^{-26} Kg correspond à 12 u exactement.

$$\Rightarrow 1u = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ Kg} \Rightarrow 1u \approx m_p \approx m_n$$

I.1.1.2. Nombre d'Avogadro N_A

C'est le nombre d'atomes réels contenus dans 1 mole de l'isotope $^{12}_6\text{C}$ du carbone.

mol = unité de substance et on postule que 1 mole de $^{12}_6\text{C}$ pèse exactement $12g \cdot mol^{-1}$

$$\Rightarrow N_A = 12 \times 10^{-3} / 1.99625 \times 10^{-26} = 6.022 \times 10^{23} mol^{-1}$$

I.1.1.3. Masse atomique moyenne d'un élément

La masse de cet élément en u.m.a. en tenant compte de ses isotopes.

$$M = \frac{\sum_i \tau_i M_i}{\sum_i \tau_i}$$

- $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$: % (abondance des différents isotopes de l'élément).
- M_1, M_2, \dots, M_n leurs masses atomiques respectives.

Exemple : le chlore naturel contient 75 % de l'isotope ^{35}Cl et 25 % de l'isotope ^{37}Cl .

$$\text{La masse atomique moyenne est : } M = \frac{(35 \times 75) + (37 \times 25)}{100} = 35.5u$$

I.1.1.4. Masse molaire d'un élément

Elle égale la masse d'une mole (symbole : mol) de cet élément. La masse molaire (d'une mole) d'un nucléide exprimée en $g \cdot mol^{-1}$ est exactement égale à la masse atomique (d'un atome réel de ce nucléide) exprimée en u.m.a.

mol = ensemble de $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ entités identiques (atomes, molécules, particules,...)

Exemple : Masse atomique réelle de l'atome du nucléide $^{14}\text{N} \approx 14u$

Masse molaire de 1 mole de ^{14}N , c'est à dire la masse de 6.022×10^{23} atomes de $^{14}\text{N} \approx 14g \cdot mol^{-1}$

I.1.2. La molécule

La molécule est la plus petite unité chimique d'un élément ou d'un composé. Elle est constituée d'atomes identiques ou différents liés chimiquement entre eux.

Une molécule est représentée par une formule qui indique :

- Les différentes sortes d'atomes dont elle constituée (Chaque atome est représenté par son symbole)
- Le nombre de chaque atome (grâce au nombre placé en indice de chaque atome)

I.2. Configuration électronique de l'atome

La configuration électronique d'un atome est la répartition des électrons dans ses couches d'énergies. Les couches d'énergies sont les différentes régions autour de l'atome où les électrons ont statistiquement le plus de chances de se trouver. La configuration électronique permet d'informer rapidement et simplement sur le nombre de couches d'énergies que possède un atome, ainsi que sur le nombre d'électrons qui peuplent chacune des couches de cet atome.

I.2.1. Couches et sous-couches électroniques

Les électrons se déplacent sur des couches électroniques, caractérisées par leur nombre quantique principal n ($n =$ entier positif non nul : $n = 1, 2, 3, \dots$).

La couche électronique est parfois indiquée par une lettre majuscule au lieu de la valeur numérique de n .

Valeur de n	1	2	3	4	5	6	7	8
Symbole de la couche	K	L	M	N	O	P	Q	R

Chaque couche se subdivise en une ou plusieurs sous-couches, dont la forme est caractérisée par le nombre quantique secondaire l ($l =$ entier tel que: $0 \leq l \leq n - 1$).

- $l = 0$: sous-couche de type « s »
- $l = 1$: sous-couche de type « p »
- $l = 2$: sous-couche de type « d »
- $l = 3$: sous-couche de type « f »
- $l = 4$: sous-couche de type « g »

Une sous-couche est formée d'une ou de plusieurs orbitales, caractérisées chacune par le nombre quantique magnétique m ($m =$ entier tel que : $-l \leq m \leq +l$).

On peut associer à chaque orbitale une case quantique :

		
Type s	Type p	Type d
$m=0$	$m=-1, 0, 1$	$m=-2, -1, 0, 1, 2$
une orientation	trois orientations	cinq orientations

Tout électron est caractérisé par son *nombre quantique de spin* s : $s = \pm \frac{1}{2}$.

I.2.2. Répartition des électrons

Des règles permettent de remplir ces cases quantiques et donc de définir la configuration électronique de l'atome :

I.2.2.1. Principe d'exclusion de Pauli

En 1925, Pauli (*Physicien suisse, 1900-1958, prix Nobel 1945*) a énoncé le principe suivant: « Deux électrons d'un même atome (ou ion) ne peuvent avoir 4 nombres quantiques identiques. Ils diffèrent au moins par un nombre quantique ».

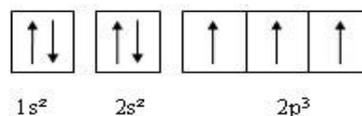
I.2.2.2. Principe de stabilité

Les électrons se répartissent de façon à assurer le plus bas niveau énergétique possible, c'est-à-dire la plus grande stabilité possible.

I.2.2.3. Règle de Hund

Si plusieurs orbitales ont le même niveau énergétique (on les dit alors «dégénérées») les électrons tendent à en occuper un maximum et à se mettre dans le même état de spin avant de s'apparier en spin opposé.

Exemple : l'atome d'azote N ; $Z=7$



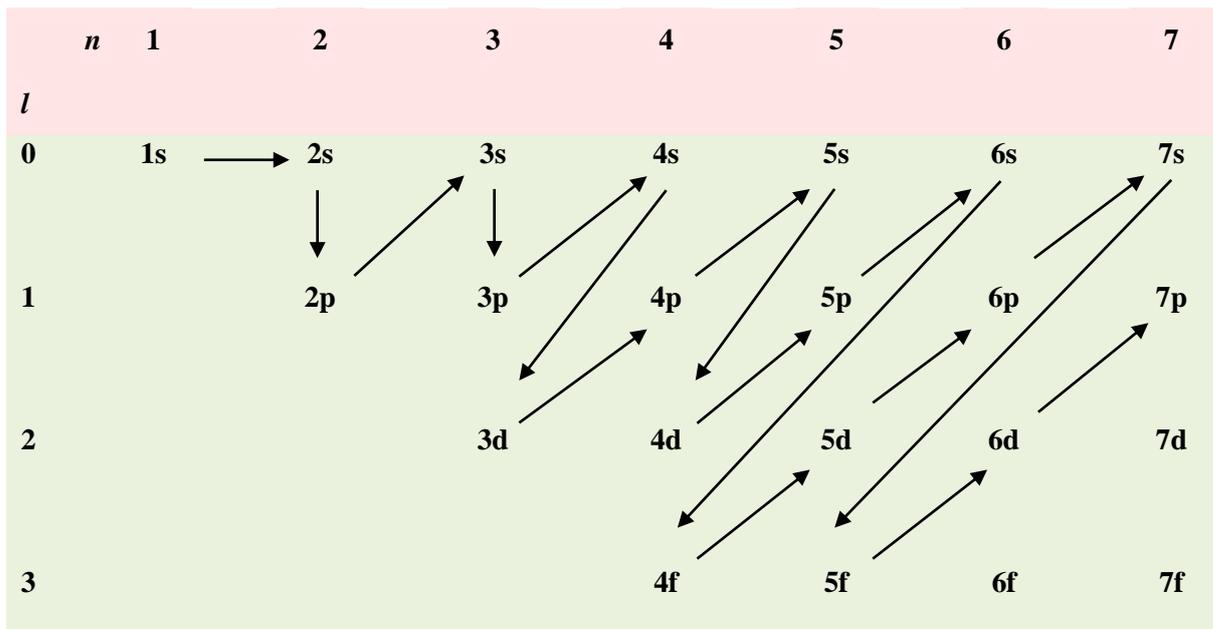
I.2.2.4. Règle de Klechkovski

L'énergie des sous-couches augmente quand la somme $(n + l)$ augmente. Lorsque la somme $(n + l)$ est identique pour 2 sous-couches, la sous-couche de plus basse énergie est celle pour laquelle « n » est le plus petit

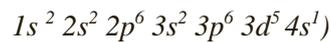
Selon la forme de la sous-couche il y a un nombre limité d'électrons.

Sous-couche de type	s	p	d	f
Nbr maximum d'électrons	2	6	10	14

Tant que Z n'est pas trop élevé, les électrons doivent garnir complètement les sous-couches dans l'ordre suivant :

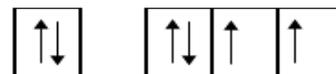


Existe quelques exceptions (par exemple l'atome de chrome ^{24}Cr :



Couche de valence : C'est la dernière couche occupée.

Exemple : l'atome d'oxygène $1s^2 2s^2 2p^4$



I.3. Tableau périodique des éléments

La structure électronique détermine les propriétés chimiques d'un élément. Ce sont surtout les électrons externes qui interviennent dans les interactions entre atomes. La connaissance de la structure électronique des atomes permet alors de classer logiquement les éléments dans un tableau de Mendeleïev (tableau périodique des éléments).

I.3.1. La classification périodique des éléments

Basée initialement par Mendeleïev sur le classement des éléments par masse atomique croissante, la classification moderne est basée sur le classement des éléments par numéro atomique Z croissant, donc s'appuie sur la structure électronique des atomes.

- Elle est constituée de 7 lignes appelées "*périodes*" et de 18 colonnes appelées "*familles*".
- Le numéro atomique croît de gauche à droite dans une période et de haut en bas dans une colonne.
- Les éléments d'une même période ont la même valeur du nombre quantique principal maximal n .
- Les éléments appartenant à une même colonne ont généralement la même structure électronique externe, donc souvent des propriétés chimiques ou physiques voisines. (attention : ne pas généraliser !).

La classification périodique est divisée en **4 blocs** en fonction de la structure électronique externe des éléments :

I.3.1.1. Bloc « s » : ns^1 ou ns^2 ; colonnes 1 et 2.

- Colonne 1 : les alcalins : H, Li, Na, K, Rb, \dots
 - La structure électronique externe est : ns^1
 - Ils donnent des cations monovalents : $Na^+, K^+ \dots$
 - Ils donnent des oxydes basiques : $Na_2O + H_2O \rightarrow 2 NaOH$
- Colonne 2 : les alcalino-terreux : Be, Mg, Ca, Sr, \dots
 - La structure électronique externe est : ns^2
 - Ils donnent des cations bivalents : $Mg^{2+}, Ca^{2+} \dots$
 - Ils donnent des oxydes basiques : $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

I.3.1.2. Bloc « p » : ns^2, np^x (avec : $1 \leq x \leq 6$) ; colonnes 13 à 18.

- Colonne 13 : la famille du bore : *B, Al, Ga, ...*
 - La structure électronique externe de ces éléments est : ns^2, np^1
- Colonne 14 : la famille du carbone : *C, Si, Ge, Sn, ...*
 - La structure électronique externe est : ns^2, np^2
 - Ils forment principalement des liaisons de covalence.
- Colonne 15 : la famille de l'azote : *N, P, As, Sb, ...*
 - La structure électronique externe est : ns^2, np^3
 - ils donnent principalement des liaisons de covalence
 - ils donnent des oxydes acides ($N_2O_3, N_2O_5, P_2O_5 \dots$) : $N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2 HNO_3$
- Colonne 16 : la famille de l'oxygène ou chalcogènes : *O, S, Se, Te, ...*
 - Leur structure électronique externe est : ns^2, np^4
 - Ils donnent des anions bivalents : $O^{2-}, S^{2-} \dots$
 - Ils donnent des oxydes acides ($SO_2, SO_3 \dots$) : $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$
- Colonne 17 : les halogènes : *F, Cl, Br, I, ...*
 - Leur structure électronique externe est : ns^2, np^5
 - ils donnent des anions monovalents : $F^-, Cl^-, Br^- \dots$
- Colonne 18 : les gaz rares : *He, Ne, Ar, Kr, Xe, ...*
 - La structure électronique externe est : ns^2, np^6 , sauf pour *He* ($1s^2$)
 - La configuration de gaz rare correspond à la saturation de la couche électronique externe :

ils présentent une grande inertie chimique, mais leur réactivité augmente avec *Z*.

I.3.1.3. Bloc « d » : $(n-1)d^x, ns^y$ (avec : $1 \leq x \leq 10$ et $0 \leq y \leq 2$) ; colonnes de 3 à 12

Les métaux de transition : *Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Au, ...*

- Leur structure électronique externe est : $(n-1)d^x, ns^2$ (ns^1 ou ns^0) avec $1 \leq x \leq 10$.
- ils donnent des cations à valences multiples : $Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^+, Cu^{2+} \dots$

I.3.1.4. Bloc « f »: $(n-2)f^x$, $(n-1)d^y$, ns^2 (avec $n = 6$ ou 7 , $0 \leq x \leq 14$; $y = 0$ ou 1 ou exceptionnellement 2 pour $_{90}Th$). : Lanthanides et des Actinides

- Les éléments pour lesquels $n = 6$ sont appelés "Lanthanides".
- Pour $n = 7$ sont appelés "Actinides" (ces derniers sont tous radioactifs). *Ce, U, Pa, Th, ...*

I.3.2. Caractérisations atomiques et périodicité

I.3.2.1. Energie d'ionisation

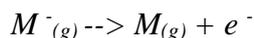
L'énergie de première ionisation, EI_1 , est l'énergie minimale qu'il faut fournir à un atome isolé, $A_{(g)}$ (état gazeux), pour lui arracher un électron selon la réaction :



L'énergie EI_1 augmente de la gauche vers la droite au cours d'une même période et du bas vers le haut à l'intérieur d'une même colonne. Cette énergie est toujours positive. Les maxima correspondent aux gaz rares et les minima aux alcalins.

I.3.2.2. Affinité électronique

L'affinité électronique AE d'un élément est l'énergie nécessaire pour arracher un électron à un anion gazeux pour redonner l'atome gazeux.



I.3.2.3. Electronégativité

C'est une grandeur énergétique qui caractérise la tendance d'un élément à acquérir un électron : c'est ce qu'on appelle le caractère oxydant ou réducteur en chimie.

Parmi les échelles de classement proposées, une des plus simples est l'échelle de MULLIKEN :

$$\chi = \frac{EI + AE}{2}$$

Et des plus connus est l'échelle de PAULING, fondée sur les différences entre énergies de liaison hétéronucléaire et les liaisons homonucléaires :

$$|\chi_A - \chi_B| = 0,102 \left[E_{AB} - (E_{AA} E_{BB})^{1/2} \right]$$

L'électronégativité varie de la même manière que l'énergie d'ionisation, c'est-à-dire qu'elle augmente de gauche à droite dans une période et de bas en haut dans une colonne.

I.3.2.4. Rayons atomiques

Le rayon atomique d'un atome est égal à la moitié de la distance qui sépare les 2 noyaux d'une molécule diatomique homonucléaires liés par une liaison de covalence simple.

- R_{at} diminue Dans une période.
- R_{at} augmente Dans une colonne.
- Un cation a un plus petit rayon que celui de l'atome correspondant, un anion a à l'inverse un rayon plus gros.
- Le rayon atomique varie dans le sens inverse de l'énergie d'ionisation.

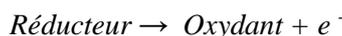
I.4. Réaction d'Oxydoréduction

Une réaction d'oxydo-réduction est une réaction chimique correspondant au transfert d'un ou plusieurs électron (s) entre deux réactifs, appelés « oxydant » et « réducteur », c'est-à-dire elle correspond à un transfert d'électrons entre la forme redite red_2 d'un couple redox (red_2/ox_2) vers la forme ox_1 d'un autre couple redox (red_1/ox_1) selon le bilan :

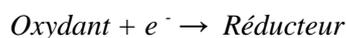


I.4.1. Couples « oxydant / réducteur » ou couple « Redox »

- Oxydant : entité chimique capable de gagner un ou plusieurs électron(s).
- Réducteur : entité chimique capable de perdre un ou plusieurs électron(s).
- Oxydation: une réaction au cours de laquelle un réactif cède un ou plusieurs électron(s) : le réducteur est oxyde.



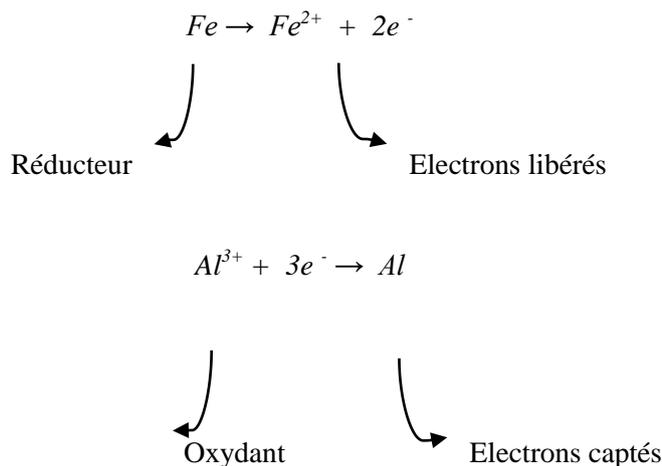
- Réduction: une réaction au cours de laquelle un réactif capte un ou plusieurs électron (s): l'oxydant est réduit.



Exemples : Fe^{2+} / Fe , Al^{3+} / Al , Cu^{2+} / Cu

Un électron ne peut pas exister seul en solution. Une oxydation est donc toujours accompagnée d'une réduction. Si un électron est libéré par une entité (oxydation), il est forcément capté par une autre (réduction). Une réaction d'oxydo-réduction engage donc obligatoirement un oxydant et un réducteur.

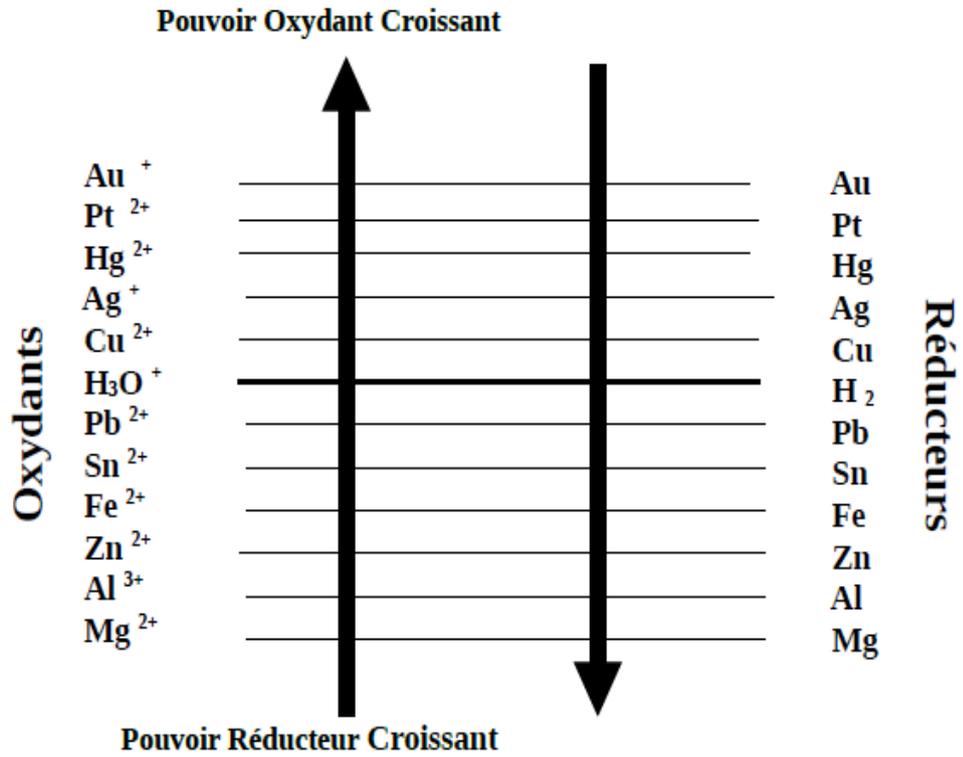
Exemples :



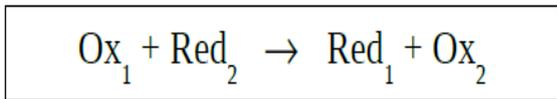
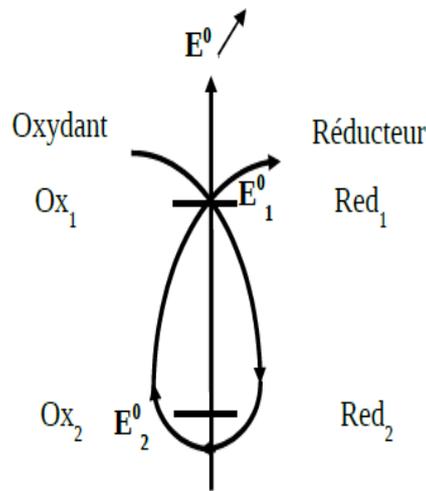
- Les principaux oxydants sont les corps simples correspondant aux éléments situés à droite du tableau périodique des éléments (O_2 , Cl_2 , etc...).
- Les principaux réducteurs sont les métaux, en particulier ceux de la colonne I (métaux alcalins), et de la colonne II (métaux alcalino-terreux).

I.4.2. Classification électrochimique des couples « Redox » :

Les couples oxydant réducteurs sont classés d'après leur pouvoir oxydant ou réducteur. Pour chaque couple oxydant réducteur, les oxydants sont à gauche (les plus puissants en haut) et les réducteurs sont à droite (les plus puissants en bas)



La classification électrochimique permet de prévoir la réaction entre 2 couples oxydant réducteurs en utilisant la règle du GAMMA.



$$E_1^0 > E_2^0$$

Règle du γ

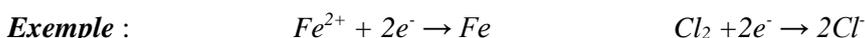
I.4.3. Réaction d'oxydo-réduction (ou réaction redox)

I.4.3.1. Demi-équation redox

On symbolise le transfert d'un ou plusieurs électron (s) entre les deux formes d'un couple «oxydant / réducteur » par une demi équation.

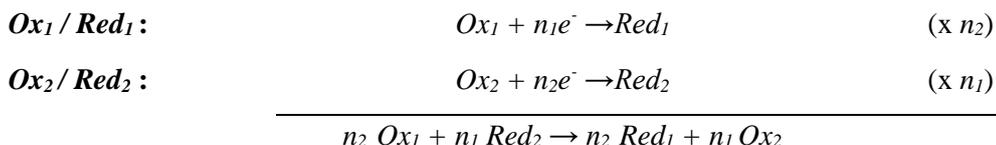


n ; est le nombre d'électron (s) nécessaire pour passer de Ox à Red .



I.4.3.2. Equation d'une réaction redox

Comme pour les réactions acido-basiques ou l'acide d'un couple réagit avec la base d'un autre, lors d'une réaction d'oxydo-réduction, l'oxydant d'un couple réagit avec le réducteur d'un autre.



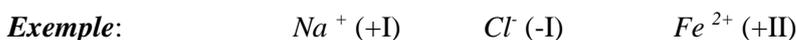
Exemple

On plonge un clou en fer dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre. Après quelques minutes, on observe un dépôt de cuivre sur le clou et le test de la soude montre la présence d'ions fer (II) en solution :



I.4.3.3. Nombre d'oxydation

Le nombre d'oxydation (NO) ou degré d'oxydation d'un élément est le nombre qui représente la charge électrique de cet élément si toutes les liaisons qui entourent cet élément étaient ioniques. Elle est notée en chiffres romains.



On peut considérer des molécules fictives entièrement ionisées pour les composés avec liaisons covalentes.

- NO de $O = -II$ sauf dans pour le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 ou $NO = -I$
- NO de $H = +I$ sauf pour les hydrures H^-

- La somme des NO des atomes d'une espèce = a la charge de l'ion ou de la molécule.
- Le NO des corps simples est nul.

Exercices

Exercice 1 :

Remplir le tableau suivant avec les caractéristiques de chaque élément.

Elément	$^{35}_{17}\text{Cl}$	$^{16}_8\text{O}$	^4_2He	^7_3Li	$^{28}_{14}\text{Si}$
Nom					
Nombre de masse					
Numéro atomique					
Nombre de nucléons					
Nombre de neutrons					
Nombre d'électrons					
Masse molaire (u)					

Exercice 2 :

La masse atomique moyenne du carbone est de 12,01 g/mol et nous savons que le carbone existe sous la forme de deux isotopes : le carbone 12 et le carbone 13.

- Quelles sont les abondances des différents isotopes du carbone ?

Exercice 3 :

Parmi les échantillons suivants, quel est celui qui contient le plus grand nombre d'atomes :

- 1g d'argent (Ag).
- 1g d'ammoniac (NH_3).
- 1g de néon (Ne).
- 1g d'octane (C_8H_{18})

Données: Ag = 107,8682u, Ne = 22,9897u, N = 14,0067 u, C = 12,0107u, H = 1,00794u.

Exercice 4 :

On donne la masse d'un atome de carbone $m=2,0 \cdot 10^{-23}$ g

- Quel est le nombre d'atome connus dans une mine de crayon de masse $M = 0,50$ g (la mine de crayon est supposée en carbone pur ?

Données : $m_{\text{atome}} = 2,0 \cdot 10^{-23}$ g, Masse de la mine $M = 0,50$ g.

Exercice 5 :

- Donnez la configuration électronique des espèces chimiques indiquées ci-dessous, en précisant à chaque fois la couche de valence et le nombre d'électrons célibataires : ${}^8\text{O}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{34}\text{Se}$, ${}^9\text{F}$, ${}^{17}\text{Cl}$, ${}^{35}\text{Br}$, ${}^{53}\text{I}$.
- Donnez la configuration électronique de l'espèce chimique Cl^- , K^+ , Ca^{2+}

Exercice 6 :

Parmi les éléments suivants, indiquer ceux qui appartiennent à la même période ou à la même colonne de la classification périodique : ${}^{22}\text{Ti}$, ${}^{17}\text{Cl}$, ${}^7\text{N}$, ${}^{30}\text{Zn}$, ${}^3\text{Li}$, ${}^{15}\text{P}$.

Exercice 7 :

Soit les éléments : ${}^{29}\text{Cu}$, ${}^{35}\text{Br}$, ${}^{42}\text{Mo}$, et ${}^{54}\text{Xe}$

- Donner les structures électroniques de ces éléments.
- Situer ces éléments dans le tableau périodique.
- Quels sont parmi ces éléments, ceux de transition ?
- Quel est l'élément inerte chimiquement, indiquer sa structure externe.
- Attribuer en appliquant les valeurs des énergies de première ionisation (EI) et des électronégativités des éléments suivants : Cu , Br , et Mo .

EI (eV)	7.7	11.8	7.2
Electronégativité	1.9	2.8	1.8

- Un élément appartient à la sixième période et au groupe IV_B. Quel est sa structure ? Donner son numéro atomique.

Exercice 8 :

Soit les éléments : ${}^{11}\text{Na}$, ${}^{37}\text{Rb}$, ${}^{48}\text{Cd}$, et ${}^{51}\text{Sb}$.

- Indiquer la position de chaque élément dans le tableau périodique (période et groupe).
- Les classer par ordre de rayon atomique décroissant.
- Les classer par ordre d'électropositivité croissante.

Exercice 9 :

Les ions argent $Ag^+_{(aq)}$ réagissent avec le plomb métallique pour donner un dépôt métallique et des ions plomb II $Pb^{2+}_{(aq)}$.

- Cette réaction est-elle une réaction d'oxydoréduction ? Justifier.
- Quels sont les couples oxydant / réducteur mis en jeu ? Écrire leurs demi-équations d'oxydoréduction.
- Identifier l'oxydant et le réducteur qui réagissent. Ont-ils été oxydés ou réduits ?

Exercice 10:

Le dichlore $Cl_2(g)$ peut se préparer au laboratoire, sous la hotte, en ajoutant, avec précaution, une solution d'acide chlorhydrique HCl , à une solution de permanganate de potassium $KMnO_4$.

- Établir l'équation de cette réaction d'oxydoréduction.
- Préciser les espèces réduites et les espèces oxydées.
- Pourrait-on remplacer la solution d'acide chlorhydrique par une solution de chlorure de sodium ? Expliquer.

Données : Couple $MnO_4^- / Mn^{2+}_{(aq)}$

CHAPITRE II

Principaux substances solubles et en suspension dans les eaux de surface

Principaux substances solubles et en suspension dans les eaux de surface

L'eau est un liquide transparent, incolore, inodore et sans saveur, contient souvent des substances dissoutes qui lui apportent couleur, goût et saveur. La formule chimique de la molécule d'eau est H_2O . Le volume d'hydrogène étant le double de celui d'oxygène : la molécule est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Dans la molécule H_2O , chaque atome d'hydrogène est lié à l'atome d'oxygène par une liaison covalente, c'est-à-dire qu'une paire d'électrons est mise en commun, ce qui confère une très grande stabilité à la molécule.

Dans la nature, l'eau se trouve sous 3 états : solide, liquide et gazeux

A l'état solide, les molécules sont structurées en hexagone; un cristal de neige a toujours 6 branches. L'eau est alors plus légère qu'à l'état liquide, car il y a du vide entre les hexagones : c'est pourquoi la glace flotte. L'eau augmente de volume en passant à l'état solide.

Etat liquide: la structure hexagonale se défait; les molécules se rapprochent.

Etat gazeux: les molécules s'agitent et se distancient. L'eau se transforme en gaz invisible, la vapeur.

Les changements d'états : Ils peuvent se faire dans tous les sens et sont réversibles (Evaporation, Condensation, Fusion, Solidification)

A une température supérieure à 100 °C: Dans des conditions normales de pression atmosphérique, l'eau bout et se transforme en vapeur à la température de 100 °C. On dit que l'eau est à l'état gazeux.

De 0 °C à 100 °C : Dans des conditions normales de pression atmosphérique, l'eau est liquide entre 0 °C et 100 °C.

A une température inférieure à 0°C : Dans des conditions normales de pression atmosphérique, l'eau se transforme en glace à la température de 0°C. On dit alors que l'eau est à

l'état solide. Il existe différents types de glaces, allant de la neige souple et molle à la glace ferme et stable des icebergs.

II.1 Propriétés physiques de l'eau

II.1.1. Masse volumique

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1g/cm^3 .

II.1.2. Température

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels etc... Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C . Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C , il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité.

II.1.3. Conductivité de l'eau

L'eau est légèrement conductrice. Cette conductivité très faible, mais jamais nulle. La conductivité électrique s'exprime en micro siemens/cm ($\mu\text{s/cm}$).

La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée.

II.1.4. Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ 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 conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau, il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau (aptitude à dissoudre le calcaire). Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles.

II.1.5. La turbidité

C'est la propriété d'une eau d'être trouble. La mesure de la turbidité donne une indication sur la teneur en matières solides en suspension. Elle peut être déterminée par une mesure de l'absorption de la lumière par les solides en suspension

II.1.6. La viscosité

Elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures.

II.1.7. La tension superficielle

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. Elle est extrêmement élevée ; égale à 73erg/cm à 18°C.

II.2. Propriétés chimiques de l'eau

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.

II.2.1. Solvant

L'eau est un solvant pour de nombreux solides, comme le sucre ou le sel.

Au-delà d'une certaine quantité de produit, l'eau ne peut plus le dissoudre : la solution est dite saturée. L'excédent reste au fond du récipient à l'état solide. Après évaporation de l'eau, il réapparaît sous forme de cristaux. Les composants peuvent toujours être séparés par évaporation.

L'eau est un très mauvais solvant pour les hydrocarbures, qui sont des hydrophobes (ce sont des graisses). Pour que l'eau puisse laver un produit gras, il faut lui adjoindre un savon.

Certains liquides se mélangent à l'eau ; ils deviennent invisibles. D'autres semblent se mélanger à l'eau quand on agite la solution très fort, mais ils se séparent au bout d'un moment plus ou moins long.

II.2.2. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...)

II.2.3. Titre alcalimétrique

II.2.3.1. Le titre alcalimétrique simple (TA)

Mesure la totalité des bases libres: OH^- , une des valences des ions carbonates CO_3^{2-} (et éventuellement une des valences des ions phosphates PO_4^{3-}).

On le mesure par dosage par une solution titrée d'acide en présence de phénolphtaléine. Si le pH d'une eau est inférieur à 8,2, la phénolphtaléine est incolore et le TA est nul.

II.2.3.2. Le titre alcalimétrique complet (TAC)

Mesure l'ensemble des anions suivants : OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- (éventuellement PO_4^{3-} et HPO_4^{2-} ainsi que $HSiO_3^-$ pour certaines eaux naturelles).

La mesure du TAC se fait par dosage par une solution titrée d'acide en présence d'hélianthine. Si le pH d'une eau est inférieur à 8,2, le TA est nul et le TAC mesure la concentration en ions bicarbonate HCO_3^- .

II.2.4. Titre hydrotimétrique TH (la dureté de l'eau)

Le titre hydrotimétrique TH (ou TH total, ou dureté totale) mesure l'ensemble des ions alcalino-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+}). On distingue :

II.2.4.1. Le titre hydrotimétrique calcique

Ou dureté calcique) qui mesure la concentration en ions Ca^{2+} .

II.2.4.2. Le titre hydrotimétrique magnésien

Ou dureté magnésienne qui mesure la concentration en ions Mg^{2+} .

II.2.4.3. La dureté carbonatée

Correspond à la teneur en carbonate et hydrogénocarbonate de calcium et magnésium.

Le titre hydrotimétrique peut se mesurer par des méthodes volumétriques à l'aide de :

–Liqueur de savon : méthode qui consiste à ajouter une liqueur de savon jusqu'à apparition d'une mousse persistante.

–Liqueur complexométrique (solution d'EDTA).

On qualifie la dureté d'une eau :

- Eau très douce : dont le TH est compris entre 1 et 5°f.
- Eau de faible dureté : dont le TH est compris entre 5 et 12°f
- Eau de dureté moyenne : dont le TH est compris entre 12 et 25°f.
- Eau très dure : dont le TH est compris entre 25 et 50°f
- Eau de dureté très élevée : dont le TH peut aller jusqu'à 150°f.

II.2.5. Titre en acides forts (TAF)

Il donne la concentration en acides forts (chlorhydrique, sulfurique, nitrique, phosphorique) qui ne sont présents que si $pH < 4,5$ (ce qui n'est pas le cas des eaux naturelles). Ces acides sont dosés par une solution de soude en présence d'hélianthine.

II.2.6. Titre en sels d'acides forts (SAF)

Il représente la somme des anions forts : chlorure, nitrite, nitrate, sulfate, sulfite, phosphate. Cette mesure est faite après traitement de l'eau par une résine échangeuse de cations ; les sels sont alors transformés en acides que l'on dose en présence d'hélianthine.

II.2.7. Carbone organique total (COT)

Il s'agit du carbone contenu dans les matières organiques inertes dissoutes et dans les organismes vivants ; il est mesuré sous forme de CO_2 après oxydation complète.

II.3. Les eaux naturelles

Les eaux naturelles provenant des pluies, des lacs des rivières, des puits, des sources provenant des nappes phréatiques sont rarement potables.

L'eau contient des gaz dissous essentiellement de l'oxygène et du gaz carbonique mais aussi de l'azote ou encore du méthane. Tous n'ont pas la même solubilité dans l'eau et celle-ci décroît quand la température augmente. Elle contient aussi, sous forme dissoute ou en suspension, des substances minérales et organiques. Si les substances minérales sont limitées à une centaine de composés, les substances organiques sont innombrables (plusieurs centaines de mille voire plusieurs millions) et leur identification individuelle très difficile.

II.3.1. Aperçu général du contenu des eaux naturelles

II.3.1.1. Les matières minérales

L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les carbonates (CO_3^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}), les chlorures (Cl^-) et les nitrates (NO_3^-). Ils proviennent pour l'essentiel du lessivage des sols par les eaux de pluie. Aussi, leur teneur dépend-elle directement de la nature des roches du bassin versant. Elle peut varier du milligramme par litre au gramme par litre pour les eaux les plus salées.

En moins grande concentration (du microgramme au milligramme par litre), l'eau contient aussi des éléments nutritifs, ou nutriments, que sont l'azote (contenu dans l'ammoniac, les nitrites et les nitrates), le phosphore (contenu dans les phosphates) et la silice, mais aussi le fer et le manganèse. D'autres éléments ne sont présents qu'à l'état de trace (de 0,1 à 100 microgrammes par litre), comme l'arsenic, le cuivre, le cadmium, le manganèse, le fer, le zinc,

le cobalt, le plomb... Ils proviennent des roches mais aussi parfois des activités industrielles et domestiques. L'eau contient aussi des matières minérales en suspension (matériaux argileux, limons, ...etc).

II.3.1.2. Les matières organiques

Les matières organiques peuvent être présentes sous forme dissoute (carbohydrates, acides humiques, pigments et composés d'origine artificielle comme les hydrocarbures, les solvants chlorés, ou les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton...). Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi de composés issus de l'activité humaine. Leur concentration, infime dans les eaux profondes, peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface.

II.3.2. Propriétés organoleptiques

Concernant les qualités sensibles de l'eau (la couleur, la saveur, l'odeur, la transparence); ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe, une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être parfaitement consommable d'un point de vue sanitaire.

II.3.2.1. La turbidité

Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale

II.3.2.2. La couleur

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées. Leur couleur varie du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation de matières végétales. Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et de la turbidité.

II.3.2.3. Goût et odeur

La saveur et l'odeur anormales sont causées par la présence dans l'eau des matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales, de résidus agricoles, de rejets urbains ou industriels et les métabolites de certains microorganismes

vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques, et aussi certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau.

Toutes les eaux, qu'elles soient minérales, de sources ou du robinet, contiennent des minéraux en concentrations différentes et spécifiques à chacune qui leur donnent un goût et une saveur différents.

II.3.3. Cations majeurs et mineurs des eaux naturelles

II.3.3.1. Le calcium Ca^{2+}

Limite ou référence de qualité : aucune. Ils ont un rôle essentiel dans la croissance osseuse, la minéralisation des dents et la contraction musculaire. Une carence en calcium est responsable à long terme d'ostéoporose.

II.3.3.2. Le fer Fe^{2+}

Référence de qualité : 0,2 mg/l. Il est un constituant fondamental de l'hémoglobine. Une insuffisance, plus fréquente chez les femmes, provoque des états de fatigue voire une anémie. En excès, cet élément produit une coloration de l'eau.

II.3.3.3. Le potassium K^+

Limite ou référence de qualité : aucune. Il a un rôle essentiel dans les échanges cellulaires et dans la contraction musculaire. Une eau riche en potassium est déconseillée en cas d'insuffisance rénale.

II.3.3.4. Le magnésium Mg^{2+}

Limite ou référence de qualité : aucune. Il contribue au bon fonctionnement du système nerveux et à la contraction musculaire. Une carence est responsable de crampes, de spasmophilie, d'anxiété, de nervosité et de troubles digestifs. A forte dose il peut avoir un effet laxatif.

II.3.3.5. Le sodium Na^+

Référence de qualité : 200 mg/l. Il a un rôle dans les échanges cellulaires et dans le maintien de l'hydratation de l'organisme. Les carences sont quasiment inexistantes étant donné

que l'alimentation couvre largement les besoins en sel, voire est souvent trop salée. Attention cependant aux pertes chez les sportifs...

Un excès de sodium peut cependant jouer un rôle non négligeable dans le développement de l'hypertension chez le sujet prédisposé.

II.3.4. Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles

II.3.4.1. Les bicarbonates HCO_3^-

Limite ou référence de qualité : aucune. Ils agissent en facilitant la digestion et sont alcalinisant.

II.3.4.2. Les chlorures Cl^-

Référence de qualité : 250 mg/l. Ils sont un composant essentiel des liquides de l'organisme et sont indispensables à la digestion.

II.3.4.3. Les fluorures F^-

Limite de qualité : 1,5 mg/l. Ils contribuent à la minéralisation des dents et du squelette. Une insuffisance entraîne un risque plus important de développer des caries. Mais, absorbés en trop grande quantité (au-dessus de 10 mg/jour), ils sont toxiques et ils se combinent au calcium, ce qui pourrait fragiliser les os et les dents.

II.3.4.4. Les sulfates SO_4^{2-}

Référence de qualité : 250 mg/l. Ils ne sont pas assimilés par l'organisme. Leur élimination entraîne avec eux la perte d'autres minéraux.

II.3.4.5. Les nitrates NO_3^-

Limite de qualité : 50 mg/l. Les légumes et la charcuterie constituent la principale source de nitrates dans notre alimentation, avant l'eau. Les nitrates sont une substance indésirable en quantité excessive mais non toxiques. Une fois ingérés, les nitrates peuvent être transformés en nitrites et être alors à l'origine de problèmes toxicologiques particulièrement graves chez les nourrissons.

II.4. Les eaux de consommation

On peut classer les eaux de consommation en 3 groupes : les eaux minérales, les eaux de source, l'eau du robinet. Elles ont des origines et des compositions en espèces ioniques dissoutes différentes.

II.4.1. L'eau du robinet

L'eau du robinet, ou eau de distribution ou parfois eau courante, est une eau potable distribuée directement chez l'utilisateur (ménages, entreprises, bâtiments publics, etc.). Elle est transportée par un réseau de canalisations depuis son point de captage (source, forage, rivière, etc.) jusqu'aux robinets des utilisateurs. Produite par captage des eaux naturelles qui sont ensuite traitées pour être propre à la consommation.

La qualité de l'eau du robinet est très règlementée et soumise à de nombreux contrôles sanitaires, dans les pays développés. Elle provient le plus souvent d'une nappe souterraine, d'une rivière ou plus simplement d'une source apparente et subit de nombreux traitements avant d'arriver au consommateur. Dans certaines régions, elle provient du dessalement. Il s'agit du circuit de l'eau, qui suppose une véritable transformation de la ressource et tout un service de la distribution de l'eau.

II.4.2. L'eau minérale

D'origine souterraine et ne subit aucun traitement. Elle chemine en profondeur durant une longue période et se charge de minéraux. Sa composition reste constante. Une eau minérale possède des propriétés thérapeutiques.

Les eaux minérales présentent souvent des teneurs en magnésium importantes et des teneurs en nitrates généralement faibles. Leur dureté en calcium est très variable, leur intérêt provient de la présence de substances plus rares comme le fluor ou des oligo-éléments. Il existe principalement cinq catégories d'eaux minérales:

- Les eaux bicarbonatées : bonnes pour traiter les affections du foie et des intestins ;
- Les eaux sulfatées : bonnes pour traiter les affections des reins, de la peau (brûlures, eczémas, cicatrices) ;
- Les eaux sulfurées : bonnes pour les muqueuses et pour les affections respiratoires ;
- Les eaux chlorurées : bonnes pour les processus de croissance ;

- Les eaux oligométalliques : bonnes pour les rhumatismes et les affections neurologiques.

Tableau 1 : Composition chimique de quelques eaux minérale en (mg/L)

en mg.L ⁻¹												
Eaux Minérales	pH	Calcium	Magnésium	Potassium	Sodium	Sulfates	Chlorures	Bicarbonates	Nitrates	Nitrites	Silices	Résidu sec à 180°C
Guedila (Biskra)	7,35	78	37	2	29	95	40	/	4,5	<0,01	/	564
Batna (Batna)	6,9	59	45	2	15	40	32	378,2	0,0	0,0	/	650
Youkous (Tébessa)	7,40	77,4	14,5	4,65	13,4	35,8	25,7	218	2	0,0	2,33	285

II.4.3. L'eau de source

Provenir de différentes sources et de régions éloignées les unes des autres dont les caractéristiques doivent respecter une réglementation qui varie selon les pays. En général, elle doit être d'origine souterraine, ayant bénéficié d'une protection contre la pollution, et n'ayant subi ni traitement chimique, ni adjonction. Elle doit donc être naturellement conforme aux critères de potabilité (ce qui n'est pas forcément le cas d'une eau minérale). Sa composition minérale peut varier. Il n'y a pas de teneur minimale en minéraux à respecter.

Tableau 2 : Différents caractéristiques des eaux de consommation

Caractéristiques	Eau du robinet	Eau de source	Eau minérale
Origine	multiples : lacs, rivières, nappes phréatiques...,	Souterraine	Souterraine
Protection naturelle	Non requise	Obligatoire	Obligatoire
Traitement chimique	Traitements de potabilisation* (plus désinfection chimique pour transport)	Filtration partielle de certains polluants en fonction de l'état et des caractéristiques de la cartouche : chlore, plomb, aluminium et certains contaminants.	Aucun traitement de désinfection
Composition minérale	Variable (On ne connaît pas la composition au moment de la consommation)	Connue faible variabilité dans le temps	Obligatoirement stable dans la durée
Effet reconnu sur la santé	/	/	Effet favorable à la santé

* La potabilisation de l'eau comprend des traitements physiques (décantation, filtration...), chimiques (floculation, ozonation, chloration...).

Exercices

Exercice 1 :

On dispose de trois eaux minérales, dont les concentrations en ions calcium sont :

- Eau n° 1 : $9,9 \text{ mg.L}^{-1}$
- Eau n° 2 : 67 mg.L^{-1}
- Eau n° 3 : 253 mg.L^{-1}

Dans un trois tubes à essais, on verse 5 mL de liqueur de savon, et on ajoute 3 mL de chacune des eaux. On bouche les trois tubes, et on agite pour faire mousser le savon.

1. Quels sont les deux ions responsables de la dureté d'une eau ? Donner leur formule chimique.
2. Quelle est l'eau la plus douce ? Quelle est l'eau la plus dure ?
3. Quel est le tube qui contient le plus de mousse ? Le moins de mousse ?
4. Quel inconvénient de la dureté d'une eau cette expérience illustre-t-elle ? Citer un autre inconvénient.

Exercice 2 :

Un adoucisseur d'eau a pour fonction de rendre une eau plus douce. Il modifie les caractéristiques chimiques de l'eau en éliminant les ions calcium et magnésium. Il permet ainsi de diminuer la dureté de l'eau et ainsi d'éviter le dépôt de tartre. Dans un adoucisseur l'eau traverse une résine << échangeuse d'ions >>, contenant des ions sodium Na^+ . Les ions calcium et magnésium viennent se fixer sur la résine, qui en retour libère des ions sodium, non entartrant.

Quand la résine est saturée, il faut la régénérer avec une saumure composée d'eau salée très riche en chlorure de sodium (Na^+ et Cl^-).

1. Quel est le défaut d'une eau dure, cité dans l'énoncé ?
2. Pourquoi les résines qui équipent les adoucisseurs sont-elles qualifiées << d'échangeuses d'ions >> ?
3. Pourquoi les ions sodium sont-ils utilisés pour remplacer les ions calcium et magnésium ?
4. Pourquoi la résine est-elle régénérée avec de l'eau très salée ?

CHAPITRE III

Eaux de surface et pollution

Eaux de surface et pollution

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés.

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

Les eaux de surface, cours d'eau ou lacs, sont plus vulnérables que les eaux souterraines vis-à-vis de la pollution. En effet, le sol joue un rôle épurateur certain car il retient les microorganismes, adsorbe certains produits chimiques et arrête les matières en suspension.

Cependant, un certain nombre de polluants peuvent se retrouver dans les eaux souterraines. L'utilisation des eaux de nappe pour l'obtention d'eau potable doit être précédée d'un contrôle rigoureux tant pour estimer la qualité bactériologique ou chimique que pour évaluer ses caractéristiques organoleptiques (odeur, goût, couleur...).

III.1. Les différentes formes de pollution des eaux

III.1.1. Les pollutions d'origine naturelle

Au cours du cycle des saisons, les eaux de surface subissent des pollutions du seul fait de leur environnement. Les fortes pluies érodent le sol et apportent vers le cours d'eau des matières en suspension, des plantes et des substances minérales ou organiques dissoutes; en automne, les feuilles mortes se retrouvent dans l'eau. Toute la vie animale ou végétale au sein du cours d'eau ou du lac crée des débris d'organismes morts qui parfois servent de nourriture à d'autres êtres vivants mais peuvent aussi se retrouver dans le fond de l'eau et se dégrader en libérant des substances solubles dans l'eau qui peuvent lui communiquer un goût de pourri par exemple.

III.1.2. Les pollutions d'origine atmosphérique

Les fumées des usines ou du chauffage urbain, les gaz d'échappement d'automobiles contribuent à la pollution de l'air par des dérivés azotés ou soufrés, des traces d'hydrocarbures imbrûlés et

du plomb. L'entraînement de ces produits par la pluie contribue à la pollution des eaux de ruissellement en leur communiquant une certaine acidité.

III.1.3. Les pollutions d'origine urbaine

Les eaux usées des villes se composent essentiellement d'excréments humains, de détergents et de déchets divers provenant des cuisines et des salles de bain. Quelques usines ou ateliers rejettent des eaux usées de composition différente. Le problème essentiel des rejets d'eaux usées urbaines réside dans les risques bactériologiques et virologiques, même après épuration.



III.1.4. Les pollutions d'origine industrielle

Les industries chimiques produisent ou utilisent des milliers de produits divers d'origines minérales ou organiques dont une partie se retrouve dans les eaux usées industrielles. Certains d'entre eux sont toxiques, d'autres donnent à l'eau une odeur, un goût ou une couleur.



III.1.5. Les pollutions d'origine agricole

L'utilisation de produits chimiques comme les engrais pour améliorer les rendements des cultures ou des pesticides pour les protéger contre les insectes ou les rongeurs contribue largement à la pollution des eaux de surface par ruissellement et des eaux souterraines par infiltration. Les engrais azotés ou phosphores peuvent donner du goût à l'eau et certains pesticides aussi. Cependant, la toxicité des nitrates et des produits phytosanitaires pour l'homme ou la faune occulte les problèmes organoleptiques.



III.1.6. La pollution d'origine biologique

Certains organismes aquatiques sont responsables du goût de l'eau, en particulier les actinomycètes et quelques algues.

III.2. Conséquences de la pollution des eaux

III.2.1. Conséquences sanitaires

- Effets sur la santé humaine. Maladies d'origine hydriques tuent aujourd'hui encore des millions de personnes par an dans le tiers-monde.
- La présence de millions de tonnes de polluants dans les fleuves et rivières conduit à l'apparition de phénomène de mutation génétique chez certaines espèces aquatiques.

III.2.2. Conséquences écologiques

Catastrophes écologiques spectaculaire. Les spécificités des milieux aquatiques peuvent engendrer des désordres particuliers.



III.2.3. Conséquences économiques

Graves conséquences pour les sites ayant fondés leur prospérité sur l'exploitation de ressources en eau. Problème pour la production d'eau potable, frein au développement industriel, exploitation des milieux aquatiques entravée...

De plus en plus d'eau potable disparaît, cela va donc créer des conflits et le prix de l'eau va augmenter.

CHAPITRE IV

Bases théoriques des principaux procédés de traitement

Bases théoriques des principaux procédés de traitement

IV.1. Les normes

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualités très stricts fixés par le ministère de la santé et le Conseil Supérieur du secteur d'Hygiène Publique.

Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau industrielle ou destinée à la consommation. Il existe 3 niveaux d'exigence de qualité (normes).

IV.1.1. Les valeurs guides

Que l'on ne doit pas dépasser, et précisées par l'organisation mondiale de santé (O.M.S). Une valeur guide est une estimation de la concentration d'une substance dans l'eau de boisson qui ne présente aucun risque pour la santé d'une personne qui consommerait cette eau toute sa vie.

Les valeurs guides sont calculées pour chaque substance. Leur majorité comporte une large marge de sécurité qui est jugée suffisante pour tenir compte des interactions potentielles avec les autres substances présentes dans l'eau.

La valeur guide est calculée pour le groupe de population le plus sensible, et est ainsi fonction de la Dose Journalière Tolérable (D.J.T.), du poids corporel, de la D.J.T. attribuée à l'eau et de la consommation journalière.

La D.J.T. est une notion importante : il s'agit de la quantité de substance présente dans les aliments ou l'eau de boisson, exprimée en fonction du poids corporel, qui peut être ingérée quotidiennement toute une vie (70 ans) sans risque appréciable pour la santé.

IV.1.2. Les limites de qualité de l'eau de robinet

Portent sur des paramètres qui peuvent porter atteinte à la santé, par des effets immédiats ou à plus ou moins long terme.

IV.1.3. Les références de qualité

Sont liées au fonctionnement de la station de traitement de l'eau. Les références de qualité concernent les substances sans incidence directe sur la santé, aux teneurs habituellement observées dans l'eau, mais qui peuvent mettre en évidence une présence importante d'un autre paramètre. Elles peuvent concerner également les paramètres organoleptiques (goût, odeur, couleur).

Tableau 1: Tableau comparatif entre les normes algériennes, françaises, l'OMS et l'Union européenne

Paramètres	Normes de l'OMS 2006	Normes françaises 2003	Normes de l'Union européenne 1998	Normes algériennes 2011
Paramètres physiques				
pH	entre 6.5 et 9.5	6,5	≥ 6.5 et ≤ 9.5	≥ 6.5 et ≤ 9.5
Conductivité	pas de norme	1000 µS/cm à 20 °C	2500 µS/cm à 20°C	2800 µS/cm à 20°C
Température	acceptable	25 °C	25°C	25°C
Turbidité	5 NTU	0,5 NTU	Acceptable pour les consommateurs et pas de changement anormal	5 NTU
Paramètres organoleptiques				
Couleur	Non mentionnée	15 mg/l de platine	Acceptable pour les consommateurs sans couleurs anormales	15 mg/l Platine
Goût (Saveur)	acceptables	Acceptable	Acceptable pour les consommateurs et sans goûts particuliers	4 Taux dilution à 25°C

odeur	Pas de valeur guide	Acceptable	Acceptable pour les consommateurs et sans odeurs anormales	4 Taux dilution à 12°C
Eléments toxiques				
Arsenic (As)	0.01 mg/l	0,01 mg/l	0.01mg/l	0.01 mg/l
Cadmium (Cd)	0,003 mg/l	0,005 mg/l	0.005 mg/l	0,003 mg/l
Chrome (Cr⁺³, Cr⁺⁶)	chrome total : 0,05 mg/l	0,05 mg/l	0.05 mg/l	0,05 mg/l
Cyanure (CN⁻)	0,07 mg/l	0,05 mg/l	0.05 mg/l	0,07 mg/l
Mercure (Hg)	0,006 mg/l inorganique	Non mentionnées	0.001 mg/l	0,006 mg/l
Sélénium (Se)	0,01 mg/l	Non mentionnées	0.01 mg/l	0,01 mg/l
Plomb (Pb)	0,01 mg/l	0,025 mg/l	0.01 mg/l	0,01 mg/l
Antimoine (Sb)	0.02 mg/l	0.005 mg/l	0.005 mg/l	0,02 mg/l
Fer (Fe)	Pas de valeur guide	0,2 mg/l	0.2 mg/l	0,3 mg/l
Manganèse (Mn)	0 ,4 mg/l	0,05 mg/l	0.05 mg/l	0,05 mg/l
Eléments indésirables				
Aluminium (Al)	0,2 mg/l	0,2 mg/l	0.2 mg/l	0,2mg/l
Cuivre (Cu²⁺)	2 mg/l	2 mg/l	2.0 mg/l	2mg/l
Ammonium (NH₄⁺)	0.5 mg/l	0,1 mg/l	0,50 mg/l	0.5 mg/l
Argent (Ag)	0.05 mg/l	Non mentionnées	Non mentionnées	0,1 mg/l
Fluorures	1,5 mg/l	1,5 mg/l	1.5 mg/l	1,5 mg/l
Nitrates	50 et 3 mg/l (exposition à court terme).	50 mg maximum par litre	50 mg/l	50mg/l
Nitrites	0.2 mg/l (exposition à long terme)	0,1 mg/L	0.50 mg/l	0,2mg/l
Zinc (Zn)	3 mg/l	Non	5 mg/l	5 mg/l

		mentionnées		
Bore (B)	0.5 mg/l	1 mg/l	1 mg/l	1 mg/l
Pesticides	Non mentionnées	0,0005 mg/l	0.0001 mg/l	0.0001 mg/l
Hydrocarbures aromatiques polynucléaires	0,0001 mg/l	0,0001 mg/l	0.0001 mg/l	0,0002 mg/l
THM (Trihalométhanes) CCl_4	0 ,004 mg/l	0 ,15 mg/l	0.00001 mg/l	0,1 mg/l
Minéralisation globale				
Calcium Ca^{2+}	100 mg/l	Non mentionnées	Non mentionnées	200 mg/l
Chlorures(Cl)	250 mg/l	0,0005 mg/l	250 mg/l	500 mg/l
Magnésium (Mg^{2+})	50 mg/l	Non mentionnés	Non mentionnés	Non mentionnés
Dureté ($CaCO_3$)	200 ppm	Non mentionnées	Non mentionnées	200 mg/l
Sodium (Na)	20 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	200 mg/l
Potassium (K^+)	12 mg/l	Non mentionnées	Non mentionnées	12 mg/l
Sulfates (SO_4)	500 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	400 mg/l
Paramètres microbiologiques				
Coliformes totaux et fécaux	0 nb/100ml	Non mentionnées	Non mentionnées	Non mentionnées
Streptocoques fécaux	0 nb/100ml	Non mentionnées	Non mentionnées	Non mentionnées
Clostridium Sulfito-Réducteurs	0 nb/100ml	Non mentionnées	Non mentionnées	Non mentionnées
Staphylocoques pathogènes	0 nb/100ml	Non mentionnées	Non mentionnées	Non mentionnées
Spoires des bactéries	0nb/20ml	Non mentionnées	Non mentionnées	Non mentionnées
Bactéries sulfitoréductrices et spores	Non mentionnées	0 nb /100 ml	0 nb /100 ml	0 nb/20ml

Escherichia coli et entérocoques	Non mentionnées	0 nb /100 ml	0 nb/250 ml	0 nb /100ml
Pseudomonas aeruginosa	Non mentionnées	Non mentionnées	0nb/250 ml	Non mentionnées
Enterococci	Non mentionnées	Non mentionnées	0nb/250 ml	Non mentionnées

IV.2. Contrôles de la désinfection

L'eau naturelle n'est pas directement consommable : il faut la traiter afin de la rendre potable. Avant d'arriver à nos robinets, l'eau captée dans la nature doit subir une série d'opérations dans une usine de traitement.

Il existe ainsi près de 63 critères pour une eau propre à la consommation : ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile, portent sur plusieurs paramètres fixés

Voici les principaux paramètres définissant la qualité de l'eau potable :

IV.2.1. Les paramètres organoleptiques

Sont liés à la couleur, à la saveur et à l'odeur de l'eau. En résumé, afin d'obtenir une qualité organoleptique, l'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est d'ailleurs principalement pour ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Néanmoins, il faut tout de même noter que ce sont des paramètres de confort. En effet, ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable.

IV.2.2. Les paramètres physico-chimiques

Correspondent aux caractéristiques de l'eau telles que le pH, la température et la conductivité. Ils concernent donc tout ce qui est relatif à la structure naturelle de l'eau et délimitent des concentrations maximales pour un certain nombre d'éléments, notamment des ions comme les chlorures, le potassium et les sulfates.

Tableau 2: La conductivité de différents types de l'eau

Eau déminéralisée	$c = 0.005 \text{ mS/cm}$
Eau de pluie	$10 < c < 80 \text{ mS/cm}$
Eau peu minéralisée, domaine granitique	$30 < c < 100 \text{ mS/cm}$
Eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées	$300 < c < 500 \text{ mS/cm}$
Eau très minéralisée, saumâtre ou saline	$500 < c < 1000 \text{ mS/cm}$

Tableau 3: Turbidités usuelles de l'eau

Eau incolore	NTU < 5
Eau légèrement colorée	$5 < \text{NTU} < 30$
Eau colorée	$\text{NTU} > 50$
Eau de surface "Africaine"	$\text{NTU} > 200$
NTU : Unité de turbidité néphélogométrique	

IV.2.3. Les paramètres concernant les substances « indésirables »

Concernent des substances dont la réglementation tolère la présence en faible quantité. On peut citer par exemple la teneur maîtrisée en fluor, en nitrates, en nitrites, en sels minéraux...

IV.2.4. Les paramètres concernant les substances toxiques

Telles que les pesticides, les métaux lourds comme le plomb ou le chrome... Les teneurs tolérées sont extrêmement faibles car ce sont des poisons mortels pour l'homme.

IV.2.5. Les paramètres microbiologiques

Permettent de vérifier que l'eau ne contient pas de germes pathogènes (c'est-à-dire bactéries, virus, parasites...) qui provoqueraient des maladies chez les consommateurs. C'est le critère le plus important concernant la potabilité de l'eau.

IV.2.5.1. 3.1 Escherichia

Escherichia coli, également appelé colibacille ou *E. coli*, est une bactérie intestinale des mammifères très commune chez l'humain. La recherche de *Echerichia-coli* dans l'eau d'alimentation est faite pour apprécier sa potabilité, et sa présence dans l'eau est le témoin d'une contamination fécale récente et la rend impropre à la consommation, elle se développe en 24 heures à 37°C sur les milieux gélosés, en donnant de colonies rondes, lisse, à bord régulier de 2 à 3 mm de diamètre.

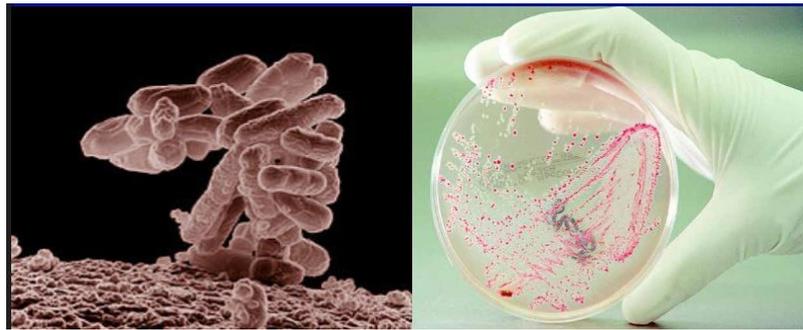


Figure 1 : Colonie de *Escherichia coli*

IV.2.5.2. Salmonella

C'est une entérobactérie responsable de gastro-entérite, toxi-infection alimentaire et des fièvres typhoïde et paratyphoïde (*S. typhi* et *S. paratyphi*). La transmission de ces deux derniers se fait surtout par l'eau potable lors des épidémies étendues. Mais le contact direct ou les aliments peuvent également être en cause dans la propagation. Le contrôle bactériologique strict des eaux de consommation ainsi que la surveillance du réservoir de germes (porteurs) expliquent la diminution spectaculaire des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes dans les pays à hygiène développée.



Figure 2 : *Salmonella typhimurium*

IV.2.5.3. Vibrio

Ce sont des petits bacilles, de formes fréquemment incurvées dites "en virgule", l'espèce la plus connue du genre *Vibrio* est *Vibrio cholerae* : agent responsable du choléra. La transmission se fait par voie orale à partir du milieu extérieur (eaux ou aliments) souillé par les selles, le vibron cholérique a une extraordinaire capacité de multiplication.



Figure 3 : La bactérie *Vibrio cholerae*

IV.2.5.4. Clostridium

Ce sont des bactéries très répandues dans la nature, elles se trouvent dans les intestins des animaux, elles peuvent provoquer des maladies mortelles. La plupart des espèces de *Clostridium* sont des bactéries telluriques, mais sont également isolées dans l'intestin et les selles de l'homme et de divers animaux. Ainsi la présence de *Clostridium* dans les eaux ou les aliments par exemple signe en général, une contamination fécale.



Figure 4 : La bactérie *Clostridium*

IV.2.5.5. Streptococcus

Ce sont des bactéries fécales trouvés dans l'eau, l'air et le sol; Parmi les types qui provoquent des maladies on peut citer *Streptococcus pyogenes*, qui sont responsables de l'inflammation septique des amygdales, des glandes lymphatiques et des angines.

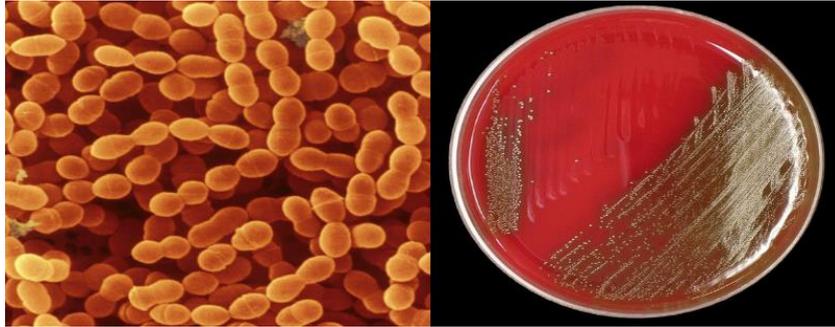


Figure 5 : Les bactéries de *Streptococcus pyogènes*

IV.2.6. Les paramètres concernant les eaux adoucies et déminéralisées

Teneur minimale en calcium, magnésium, hydrogénocarbonates.

CHAPITRE V

Les étapes fondamentales d'épuration des eaux potables

Les étapes fondamentales d'épuration des eaux potables

Le traitement des eaux s'effectue dans des usines et débute par un pompage en nappe ou en rivière. Les procédés de base peuvent être classés en plusieurs catégories.

V.1. Les procédés de traitement physique

Ces procédés couplent l'action chimique d'un réactif à une action physique. Comme le dégrillage (l'eau passe à travers des grilles pour arrêter les corps flottants et gros déchets), la décantation, la flottation (inverse de la décantation), la filtration sur lit de sable ou avec des filtres à charbon actif. Avec la coagulation-floculation où l'eau reçoit un réactif destiné à provoquer l'agglomération des particules en suspension en gros flocons de boue appelés « le flocc ». Où des agents tels le chlore qui agit sur les métaux, les matières organiques.

V.1.1. 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.

Tout d'abord, l'eau prélevée dans les fleuves ou les rivières passe à travers des grilles qui retiennent les déchets les plus gros comme des branches afin de protéger les installations. L'eau passe ensuite dans des tamis de maille de plus en plus fines retenant les déchets plus petits comme des feuilles, de l'herbe ou des cailloux.



Figure 1: Grilles grossière et fin

V.1.2. Flocculation et décantation

La décantation est un procédé physique, elle consiste à laisser déposer les particules dont la densité est supérieure à l'eau dans le fond du bassin. Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces :

- La force de la pesanteur, qui est l'élément moteur car elle permet la chute de la particule.
- Les forces de frottements qui s'opposent à ce mouvement.

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



Figure 2 : Flocculation et décantation

Ces particules seront périodiquement éliminées du fond du bassin de décantation. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigée vers un filtre. La vitesse de chute des particules est proportionnelle au diamètre et à la masse volumique de la particule.

Le mélange d'eau brute et des coagulants-floculants est introduit à la base du décanteur. Dans le décanteur se trouve du micro-sable qui « colle » aux flocons et les lestent. Ceux-ci tombent alors au fond du décanteur. L'eau décantée est évacuée par le haut de la cuve mais elle doit auparavant traverser des modules lamellaires inclinés qui forcent la décantation des particules plus légères entraînées par le courant ascensionnel de l'eau.

Au fond du décanteur, la boue est pompée en continu et envoyée vers un hydrocyclone, appareil simple qui sépare, grâce à la force centrifuge, la boue et le micro-sable. Il permet d'éliminer environ 80% des matières en suspension. Le micro-sable est ensuite réinjecté dans le décanteur alors que les boues sont dirigées vers l'unité de traitement des boues.

On utilise un décanteur à recirculation de boue avec du sable. Les matières coagulées s'agglutinent autour de chaque grain de sable. Il joue un rôle de lest des matières coagulées ce qui accélère fortement la décantation.

Par ailleurs, l'amidon peut être utilisé pour optimiser le lestage.

V.1.3. Filtration

V.1.3.1. La filtration sur sable

La filtration par le sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes.

Un filtre à sable est constitué par une couche de sable de qualité adéquate, à travers laquelle l'eau circule à vitesse relativement faible. Le filtre à sable purifie l'eau de trois manières différentes :

- La filtration permet d'intercepter les dernières particules visibles à l'œil nu de l'eau à traiter.
- Floculation pendant laquelle les substances se collent à la surface du sable et viennent grossir la taille de ce dernier.
- Assimilation par des micro-organismes qui se nourrissent des polluants de l'eau.

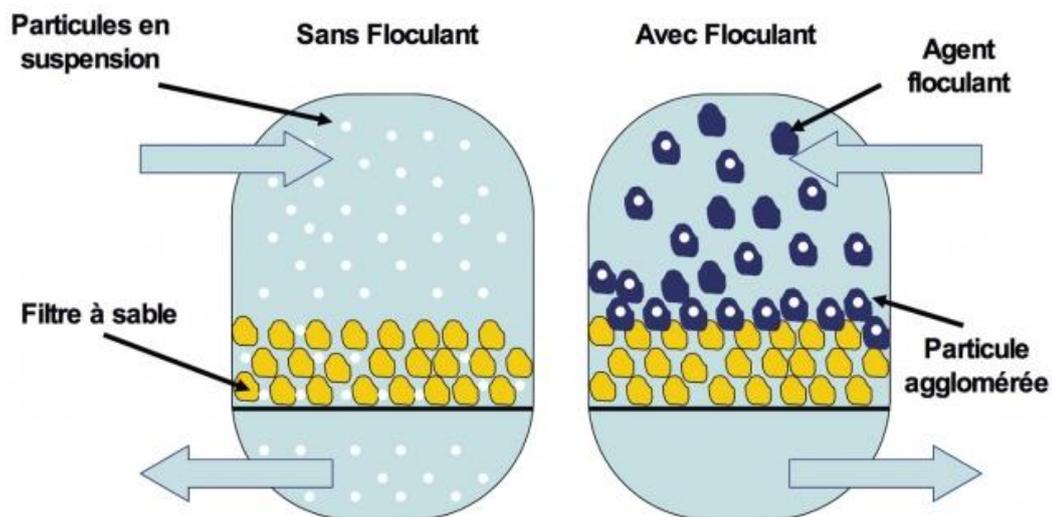


Figure 3 : Schéma simplifié d'un filtre à sable sans et avec flocculant

Par contre, les virus et bactéries peuvent toutefois passer au travers des filtres c'est pourquoi l'étape finale de désinfection est obligatoire.

V.1.3.2. Filtration sur membranes

Les filtrations sur membranes constituent une mini-révolution dans le domaine du traitement de l'eau. En effet, son principe consiste non plus à éliminer chimiquement les micropolluants mais à les extraire physiquement. Leur très gros avantage est de n'utiliser aucun réactif chimique pour traiter des eaux. Elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréable ni mauvaise odeur, et de qualité constante quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter. Elles commencent depuis peu à être utilisées à grande échelle au niveau industriel. Le seul inconvénient de ces nouveaux traitements est leur coût élevé, mais le principe d'action de ces membranes est simple puisqu'il consiste ni plus ni moins en un filtrage mécanique.

V.1.3.3. ultrafiltration

L'ultrafiltration est un procédé qui permet de séparer le soluté du solvant. Le principe de séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane réalisée grâce à une pompe d'alimentation haute pression. Par ailleurs, la filtration est généralement de type tangentiel, c'est-à-dire que l'eau circule parallèlement à la membrane grâce à une pompe de circulation. Les parois de chacune des fibres de la membrane sont percées d'une multitude de pores microscopiques qui retiennent les molécules de la taille de 0,002 à 0,1 micromètre selon la membrane choisit car seule les substances inférieures à la taille des pores peuvent traverser la paroi. L'ultrafiltration permet d'éliminer toutes les particules en suspension, les bactéries et les virus, ainsi que les plus grosses molécules organiques. Mais certains pesticides et certaines molécules responsables de goûts et d'odeurs, de plus faible encombrement, ne sont pas retenus. Pour pallier cet inconvénient, du charbon actif en poudre est mélangé à l'eau à traiter. Ces substances s'adsorbent sur les grains de charbon lesquels, trop gros pour passer à travers les pores, sont retenus par les membranes. Il permet de réduire l'usage des désinfectants chimiques. Côté entretien, un lavage régulier doit être effectué avec de l'eau propre circulant en sens inverse pour que les pores ne se colmatent pas.

V.1.3.4. Nanofiltration

La nanofiltration permet de produire une eau de très grande qualité grâce à son procédé de séparation utilisant la filtration au travers de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression. Son principe est très semblable à celui de l'ultrafiltration, la différence essentielle étant que la membrane de nanofiltration offre une porosité dix fois plus faible, de l'ordre de 0.001 micromètres. Les modules actuellement proposés sont de type tubulaire ou spirale. Injectée sous pression, l'eau à traiter traverse la membrane et ressort filtrée par le tube central.

La nanofiltration permet de retenir tous les polluants dissous, qu'ils soient biologiques, organiques ou minéraux et quelle que soit leur concentration, sans avoir besoin d'utiliser l'absorption sur charbon actif. Elle constitue une technique sûre qui permet d'éliminer toutes les substances toxiques ou indésirables résultant des activités humaines, industrielles, agricoles ou provenant du milieu naturel. De plus, elle permet également de diminuer de manière significative l'usage du chlore. Son seul inconvénient réside dans le fait que l'eau produite est tellement pure qu'il est nécessaire de la reminéraliser. En effet, elle arrête certains ions comme Ca^{2+} .

V.1.3.5. La microfiltration

Pour la microfiltration, on utilise des membranes avec des pores de taille comprise entre 0.1 et 10 micromètres. Les membranes de microfiltration retiennent toutes les bactéries. Par contre, elles n'éliminent pas les virus puisqu'ils sont plus petits que les pores de ces membranes. La microfiltration peut être mise en œuvre dans beaucoup de procédés de traitements différents quand des particules avec un diamètre supérieur à 0.1mm ont besoin d'être éliminées.

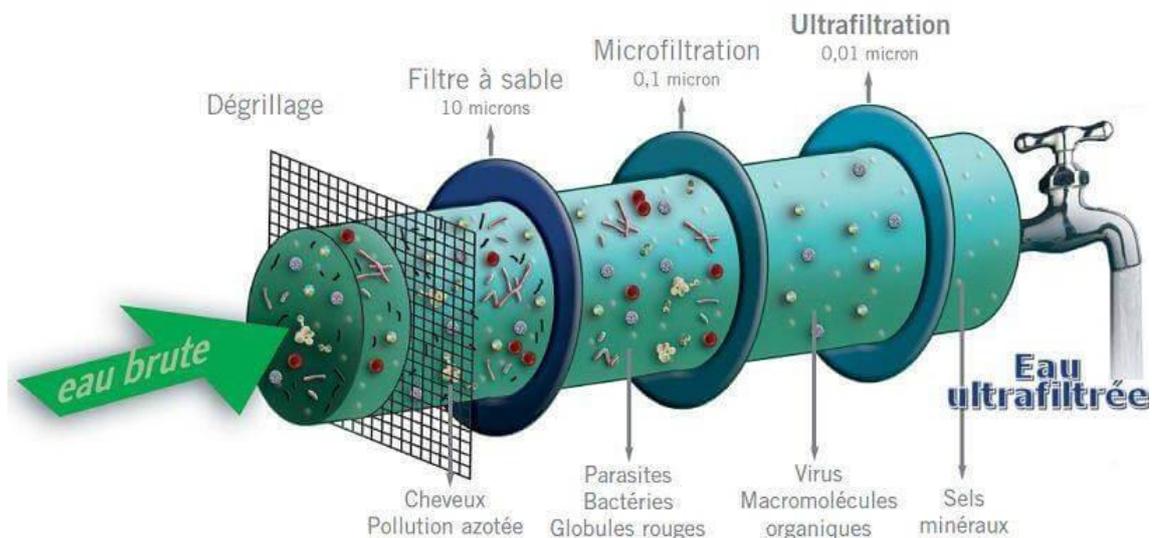


Figure 4 : Procédés de filtration de l'eau

V.2. Les procédés de traitement chimique

Ce type de traitement utilise des réactifs chimiques qui agissent directement sur les métaux lourds, les matières organiques, les germes pathogènes et les caractéristiques de l'eau.

La chaux peut être utilisée pour modifier le pH de l'eau et la rendre plus douce ou plus agressive.

L'oxydation au chlore élimine l'ammoniaque, le fer et évite le développement d'algues. L'oxydation à l'ozone élimine le fer, le manganèse, les micropolluants et rend les matières organiques plus biodégradables.

La chloration et l'ozonation utilisent respectivement le chlore et l'ozone comme désinfectants en fin de filière.

V.2.1. Ozonation

L'ozone est une molécule de formule chimique O_3 . Elle consiste en l'enchaînement de trois atomes d'oxygène, soit un de plus que dans le cas du dioxygène. C'est un gaz très instable, ce qui lui confère une capacité oxydante très importante.

Tout d'abord, l'ozone est créé grâce à l'air ambiant. En effet, l'oxygène capté va traverser un générateur d'ozone où il reçoit une charge électrique. Après avoir reçu une charge électrique, certaines molécules de dioxygène (O_2) vont se séparer pour former deux atomes oxygènes indépendants. Ensuite, ces atomes vont se fixer aux molécules O_2 qui n'ont pas été divisées pour former des molécules d'ozone (O_3).



Figure 5: Ozonneur pour le traitement de l'eau

Le principe de l'ozone est d'oxyder toutes les substances organiques. Il inactive les pesticides et les organismes pathogènes (virus et bactéries).

La mise en contact de l'eau avec l'ozone issu des installations de production se fait dans une cuve à plusieurs compartiments dans laquelle on pulse de l'air ozoné.

L'avantage de l'ozone est qu'une fois avoir agi sur les bactéries et les virus, il retourne naturellement à sa forme originelle, c'est à dire, l'oxygène. Ainsi, il ne laisse pas de trace dans l'eau comme la plupart des autres principes de traitement de l'eau.

V.2.2. La désinfection

En fin de traitement, la désinfection permet l'élimination des micro-organismes pathogènes (bactéries et virus). On utilise pour cela soit un désinfectant chimique comme le chlore, l'ozone, ou les rayonnements ultraviolets. Il est important qu'un de ces traitements persiste tout au long du réseau afin qu'aucun germe ne puisse se développer dans les canalisations où l'eau peut séjourner plusieurs jours. De plus, ces traitements permettent de corriger si besoin la dureté et l'acidité de l'eau afin de protéger les canalisations de la corrosion et de l'entartrage.

Cette désinfection se fait par post-ozonation : on ajoute de l'ozone une nouvelle fois à l'eau avec des agents chlorés (chlore gazeux, eau de Javel, bioxyde de chlore).

L'ozone est un oxydant puissant il est donc très désinfectant notamment pour les virus et les bactéries. Il est inodore et offre une meilleure qualité gustative à l'eau que le chlore. Par contre, cet ozone est coûteux bien qu'il soit produit à l'intérieur même des usines et sa mise en place est complexe. La réaction permettant de le produire se fait par des décharges électriques de 20 000 V : celles-ci assèchent l'air pour former l'ozone nécessaire à la désinfection.

Pour cette désinfection, le chlore est le procédé chimique le plus utilisé car il est très efficace. De plus, la mise en œuvre de ce procédé est assez simple et non coûteuse. L'eau de Javel est utilisée dans les plus petites infrastructures de traitement de l'eau. Mais pour ces deux procédés, le chlore peut se combiner à des matières organiques encore présentes, ce qui peut former des composés dangereux à la consommation. Le bioxyde de chlore est sous forme de liquide, ce qui évite la formation de ces composés. En revanche, il est moins utilisé car il est plus onéreux et il est plus compliqué à utiliser.

Ensuite, on fait passer des rayons ultraviolets dans l'eau pour tuer les différents germes. Pour finir, on fait passer l'eau dans une membrane qui va éviter aux micro-organismes restants de passer dans le réseau de distribution.

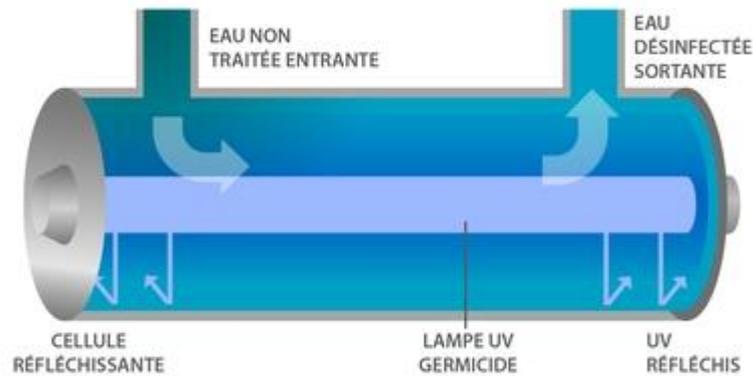


Figure 6 : La désinfection par rayons ultraviolets

V.3. procédés de traitement physico-chimique

Ces procédés couplent l'action chimique d'un réactif à une action physique.

Pour faciliter le dépôt des particules dans le fond du bassin, l'étape de décantation peut être couplée à deux étapes chimiques permettant d'agglomérer les particules et de les rendre plus lourdes ; la coagulation et la floculation.

V.3.1. Coagulation et floculation

Les particules colloïdales sont des particules très petites qui ne peuvent pas s'agglomérer naturellement. Elles portent des charges négatives à leur surface ce qui attire les ions positifs en solution dans l'eau et forment la couche liée, qui attire ensuite des anions accompagnés d'une faible quantité de cations, c'est la couche diffuse. Il y a donc formation d'une double couche ionique.

Les particules colloïdales sont chargées négativement, c'est pourquoi elles se repoussent et ne peuvent pas s'agglomérer. On en déduit que l'élimination des particules colloïdales s'effectue par l'annulation des forces de répulsion. Ainsi, on ajoute un produit chimique coagulant, par exemple, du chlorure ferrique $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pour déstabiliser les particules et ainsi faciliter leur agglomération.

V.4. Les procédés de traitement biologique

Le traitement biologique utilise les micro-organismes naturellement présents dans l'eau, principalement les bactéries. Elles dégradent la matière organique biodégradable, la matière naturelle ou les micropolluants artificiels en produits plus simples et moins dangereux pour l'homme.

Des filtres introduits dans la filière de traitement permettent, par exemple, de fixer des bactéries qui vont se développer en surface. Selon la nature du filtre et de sa place dans la filière, les populations bactériennes retenues et leur activité sont différentes : les filtres à sable, par exemple, favorisent la croissance de bactéries nitrifiantes qui éliminent l'azote ammoniacal.

V.4.1. Filtration sur charbon actif

La filtration sur charbon actif consiste à biodégrader et oxyder les matières organiques ainsi qu'éliminer ou absorber certains micropolluants pour améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau. Le phénomène physique est l'adsorption, c'est à dire l'adhésion des matières à filtrer sur la surface d'un solide, sans réaction chimique. Ainsi, le filtre composé de grains de charbon actif retient les bactéries. Par ailleurs, le charbon actif est le composé le plus adsorbant actuellement connu car sa structure extrêmement poreuse augmente la surface en contact avec l'eau, elle possède donc une grande surface permettant d'absorber et de dégrader les matières organiques et les micros polluants (pesticides) par voie microbiologique. Par ailleurs, grâce à la pré-ozonation de l'eau qui a augmenté la biodégradabilité des micropolluants c'est-à-dire la capacité d'une molécule à être dégradée par l'action d'organismes biologiques. Le charbon actif participe à l'élimination de la matière organique et de l'ammoniac.

Le rôle de cette filtration est triple :

- Retenir les dernières matières en suspension.
- Arrêter les pesticides qui auraient franchi la décantation (malgré le prétraitement au charbon actif en poudre).
- Eliminer la matière organique et les sels d'ammoniaque.

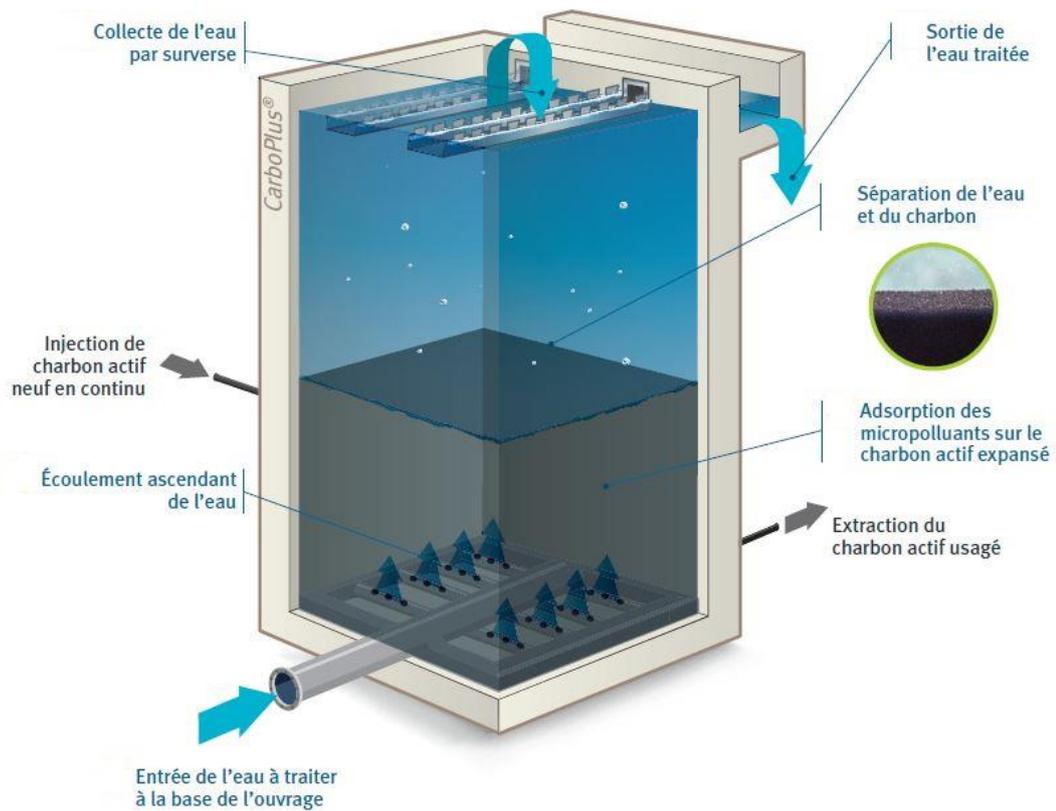


Figure 7 : Procédé de filtration sur charbon actif

Conclusion

L'eau est la plus répandue sur terre. Elle est un élément indispensable à toute forme de vie.

D'un point de vue chimique, l'eau, lorsqu'elle est pure, est un liquide inodore, transparent et insipide. D'un point de vue biologique, c'est dans l'eau que la vie est apparue et c'est grâce à elle se maintient. En effet, l'organisme humain peut vivre pendant près d'un mois sans manger mais ne peut survivre que quelques jours sans boire.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

Références

- Chimie Générale, Eddy Flamand, Jean-Luc Allard, 3e édition, Groupe Modulo, 2010.
- Structure de la matière, Atomes, liaisons chimiques et cristallographie, Michel Guymont, BELIN SUP SCIENCES, Éditions Belin, 2003.
- Chimie Générale, Steven S. Zumdahl, 2^{ème} édition, Deoek Université
- Exercices et Problèmes, Chimie Générale, Elisabeth Bardez, édition DUNOD, 2009.
- Chimie générale en 30 fiches, Richard MAUDUIT, Éric WENNER, édition DUNOD, Paris, 2008
- Olympiades de la Chimie– « Chimie et Eau », Evelyne MASSON – Académie de Clermont – Ferrand, 2010/2011.
- La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et la préparation de denrées alimentaires, Emmanuel Jestin, Agence de l'eau Seine-Normandie, Direction des Bocages Normands.
- Chimie de l'environnement, Colin Baird; Michael Cann; Robert Perraud, Edition De Boeck supérieur, 2016.
- EcoloChimie, Chimie appliquée à l'environnement, Gilles André, Valérie Dartiailh, Frédérique Maksud, Sophie Pak-Blanes, Josette Fournier, Edition Cultures Et Techniques, 1994.
- Chimie de l'environnement, air, eau, sols, déchets, Claus Bliefert; Robert Perraud, Edition DE BOECK, 2001.
- Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2ème édition: Volume 2 - Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Organisation mondiale de la Santé, 2000.
- Directives de qualité pour l'eau de boisson, 1^{ère} édition : Volume 3 - Contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités, Organisation mondiale de la Santé, 1986.
- Evaluation des options de traitement domestique de l'eau ; Objectifs sanitaires et spécifications portant sur les performances microbiologiques, Organisation mondiale de la Santé, 2012.
- Developing drinking-water quality regulations and standards, World Health Organization, 2018.
- Journal officiel de la république Algérienne, N° 18, 23 mars 2011.

Annexe I

Décret exécutif n° 11-125 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine

6		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18		18 Rabie Ethani 1432 23 mars 2011	
Tableau « B » Concours définitifs (En milliers de DA)					
SECTEURS	MONTANTS OUVERTS				
	C.P.	A.P.			
Soutien aux services productifs	6.500	6.500			
Infrastructures économiques et administratives	367.000	367.000			
TOTAL	373.500	373.500			
Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. -----					
Le Premier ministre, Sur le rapport du ministre des ressources en eau, Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2) ; Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ; Vu la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, relative à l'eau ; Vu la loi n° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009 relative à la protection du consommateur et à la répression des fraudes ; Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ; Vu le décret exécutif n° 04-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source ; Vu décret exécutif n° 08-148 du 15 Joumada El Oula 1429 correspondant au 21 mai 2008 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation des ressources en eau ; Après approbation du Président de la République ; Décète : Article 1er. — En application des dispositions de l'article 112 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité. Art. 2. — Les paramètres de qualité fixés par le présent décret sont applicables à l'eau de consommation humaine définie à l'article 111 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, susvisée, à l'exception des eaux minérales naturelles, des eaux de source, des eaux dites "eaux de table" et des eaux thermales. Art. 3. — Au sens du présent décret, il est entendu par : — valeurs limites : valeurs maximales fixées pour certains paramètres chimiques, radionucléides et microbiologiques et dont le dépassement constitue un danger potentiel pour la santé des personnes ; — valeurs indicatives : valeurs de référence fixées pour certains paramètres organoleptiques et physico-chimiques à des fins de contrôle du fonctionnement des installations de production, de traitement et de distribution d'eau et d'évaluation des risques pour la santé des personnes. Art. 4. — Les valeurs limites et les valeurs indicatives des paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine sont annexées au présent décret. Art. 5. — La vérification de la conformité de l'eau de consommation humaine aux paramètres de qualité est effectuée au moyen d'analyses d'échantillons prélevés au niveau des points suivants : — au compteur particulier pour les eaux fournies par un réseau public de distribution ; — au point d'utilisation pour les eaux prélevées dans le domaine public hydraulique naturel en vue de la fabrication de boissons gazeuses et de glace ou de la préparation, du conditionnement et de la conservation de denrées alimentaires ; — conformément à la réglementation en vigueur pour les eaux fournies à partir de citernes mobiles. Art. 6. — La vérification de la conformité de l'eau de consommation humaine incombe, suivant le cas : — à l'organisme exploitant tout ou partie du service public d'alimentation en eau potable ; — au titulaire de l'autorisation ou de la concession d'utilisation des ressources en eau ; — au titulaire de l'autorisation d'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine par citernes mobiles ; — à toutes les institutions de contrôle habilitées par la législation et la réglementation en vigueur. Art. 7. — Lorsqu'il est constaté que l'eau de consommation humaine a cessé d'être conforme aux valeurs limites et aux valeurs indicatives fixées par le présent décret, l'organisme exploitant ou le titulaire d'autorisation ou de concession, concernés au sens de l'article 6 ci-dessus, sont tenus de suspendre la distribution de l'eau. Aucun rétablissement de la distribution de l'eau ne peut être effectué sans qu'une enquête ne détermine les causes de non-conformité et sans la prise de mesures correctives nécessaires en vue de rétablir la qualité de l'eau. Art. 8. — L'organisme exploitant du service public d'alimentation en eau potable est tenu d'informer les usagers, par tous moyens appropriés, de toute suspension de la distribution et/ou des mesures correctives décidées au titre de l'article 7 ci-dessus. Art. 9. — Le présent décret sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire. Fait à Alger, le 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011. Ahmed OUYAHIA.					

ANNEXE

PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE

Tableau 1 : PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITES

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	µg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanure	µg/l	70
	Mercuré	µg/l	6
Nickel	µg/l	70	
Plomb	µg/l	10	
Sélénium	µg/l	10	
Zinc	mg/l	5	

ANNEXE (suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène.		
	benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01
	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés extraits au CCl ₄	µg/l	10
	Phénols	µg/l	0,5
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	300
	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	0,1
	Pesticides par substance individualisée - Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T	µg/l	0,1
	à l'exception de aldrine et dieldrine		0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
Chlore	mg/l	5	
Chlorite	mg/l	0,07	
Trihalométhanes (THM) (Total)			
Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane	µg/l	100	

ANNEXE (suite)

GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
	1,2 - Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2 - Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4 - Dichlorobenzène	µg/l	300
	Trichloroéthylène	µg/l	20
	Tetrachloroéthylène	µg/l	40
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

Tableau 2 : PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	