



Faculté de technologie
Département d'hydraulique et de génie civil



Polycopie de cours

QUALITE DES EAUX



Support pédagogique destiné aux étudiants de 1^{ère} Année Master

Spécialité Ouvrages Hydrauliques

Réalisé par :
Dr. YAHIAOUI Khemissi
Maitre de Conférences -A-
Université d'El-Oued

SOMMAIRE

RESUME

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE : I : GENERALITES SUR LES EAUX NATURELLES

**CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES
DES EAUX NATURELLES**

CHAPITRE III : NORMES ET QUALITE DES EAUX NATURELLES

CHAPITRE IV: POTABILISATION ET IMPACT DES EAUX NATURELLES BRUTES

RESUME

Les activités humaines exercent de nombreuses pollutions, d'abord sur les eaux de surface, puis de manière différée sur les eaux souterraines. Ainsi, l'évaluation de la qualité de l'eau est basée sur la notion d'altération. L'altération de la qualité des eaux naturelles pourrait donc être attribuée à une pollution ponctuelle ou diffuse émanant, entre autres des déchets d'élevage et des eaux usées ou de lixiviats qui ne font pas l'objet de traitement préalable. D'après l'organisation mondiale de la santé (OMS) la qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques. Ce cours qui représente le contenu de la matière « Qualité des eaux » est un outil scientifique fiable et pédagogique conforme au programme enseigné. Il est destiné aux étudiants de la première année Master en Hydraulique, spécialité: Ouvrages Hydrauliques. Elle permet aux étudiants de ce cycle d'avoir les prérequis et les connaissances nécessaires sur l'origine et la qualité des eaux naturelles (eaux de surface et eaux souterraines), les différents paramètres de pollution et les normes de potabilité.

Dans ce cours, nous avons donné un état de connaissance sur les eaux naturelles (eaux de surface, eaux souterraine) et leurs caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques. On a également montré les normes de potabilisation de ces eaux et les principales étapes du traitement des eaux naturelles pour les rendre de bonne qualité (eaux potables).

Mots clés : eaux de surface, eaux souterraines, pollutions, qualité, normes de potabilisation,

Abstract

Human activities cause numerous forms of pollution, first on surface waters and then, later, on groundwater. Thus, the assessment of water quality is based on the concept of alteration. Alteration of the quality of natural waters could therefore be attributed to point or diffuse pollution emanating, among other things, from livestock waste and wastewater or leachate that is not subject to prior treatment. According to the World Health Organization (WHO), water quality is defined by physical, chemical, and biological parameters. This course, which represents the content of the "Water Quality" subject, is a reliable scientific and educational tool consistent with the curriculum. It is intended for first-year Master's students in Hydraulics, specializing in Hydraulic Structures. It provides students in this program with the necessary prerequisites and knowledge on the origin and quality of natural waters (surface water and groundwater), the various pollution parameters, and potability standards.

In this course, we provided an overview of natural waters (surface water, groundwater) and their physicochemical and bacteriological characteristics. We also presented the standards for the purification of these waters and the main stages of natural water treatment to achieve good quality (drinking water).

Keywords: surface water, groundwater, pollution, quality, purification standards,

Introduction générale

Les humaines exercent de nombreuses pressions polluantes, d'abord sur les eaux de surface, puis de manière différée sur les eaux souterraines. La composition d'une eau naturelle est variable selon le lieu où se trouve. De plus, les conditions météoriques d'une région donnée vont influencer sur la qualité de son eau (concentrations plus élevées par temps sec, eaux plus boueuses par temps de pluie,...) et la nature de l'eau peut ainsi varier de façon saisonnière. Cela signifie que l'eau d'alimentation ne sera pas la même d'un endroit à l'autre même après avoir été rendue potable. La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation. L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base essentiellement sur la mesure de paramètres physico-chimiques et sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau. L'altération de la qualité des eaux souterraines pourrait être attribuée également à une pollution ponctuelle ou diffuse émanant, entre autres des déchets d'élevage et des eaux usées ou de lixiviats qui ne font pas l'objet de traitement préalable.

Lorsque les normes de qualité sont dépassées, des mesures particulières de protection de la santé sont prises en fonction de la nature et du degré l'altération.

CHAPITRE : I : GENERALITES SUR LES EAUX NATURELLES

I.1 Cycle de l'eau et ses composants

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables : une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours, alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années :

- + La chaleur du soleil fournit l'énergie pour faire fonctionner le cycle de l'eau ;
- + Le soleil évapore l'eau des océans et de toutes les eaux de surface sous la forme de vapeur d'eau. Cette vapeur monte dans l'atmosphère, où l'air est plus froid ;
- + La vapeur d'eau se condense pour former des nuages ;
- + Les courants d'air déplacent les nuages tout autour de la terre ;
- + Les gouttes d'eau se transforment en nuages, et ensuite tombent sur la terre sous forme de précipitations (pluie et neige) ;
- + Dans les climats froids, les précipitations s'accumulent sous la forme de neige, de glace et de glaciers ;
- + La neige peut fondre, devenant ainsi le ruissellement, qui alimente les rivières, les océans, et le sous-sol ;
- + La glace s'évapore directement dans l'air, sans passer par la phase de fonte (sublimation) ;
- + Les précipitations tombant sur terre forment les eaux de ruissellement qui alimentent en eau les lacs, les rivières et les océans ;
- + Une partie de la pluie s'infiltré dans le sous-sol, et si la percolation de l'eau est assez profonde, les eaux souterraines se rechargent ;
- + L'eau des lacs et des rivières peut aussi s'infiltrer dans le sous-sol.

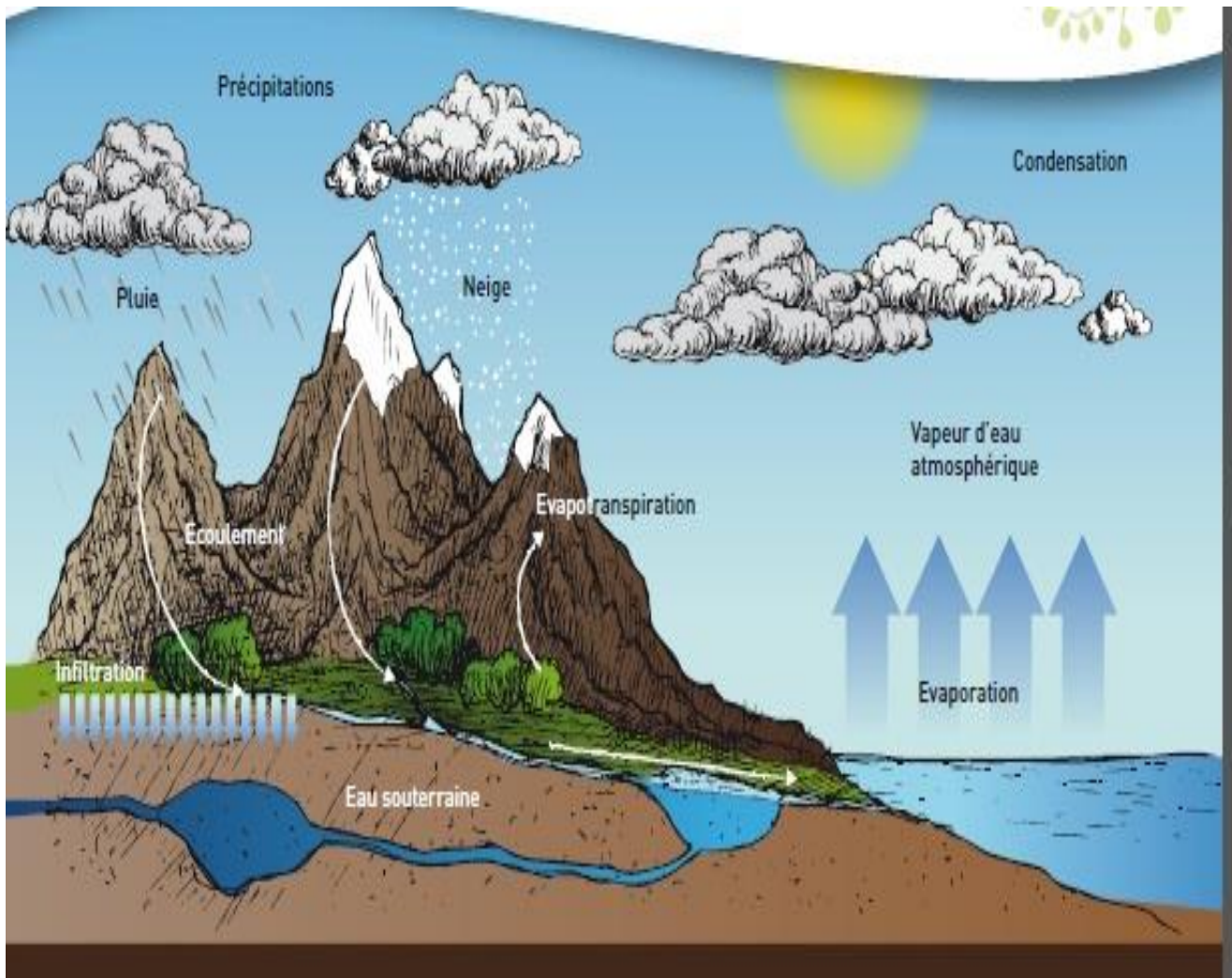


Fig 1 : Cycle naturel de l'eau

I.2. Différents types des eaux naturelles

I.2.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines, ce sont des eaux qui proviennent de nappes souterraines plus ou moins profondes et sont captées par sources, par puits et par forage. Généralement ces eaux sont pauvres en matières organiques et en oxygène. Dans les terrains sédimentaires (calcaire), la minéralisation est importante par contre dans les terrains géologiques anciens (granit, grés, schistes), la minéralisation est faible. Elles ont une composition stable dans le temps, peu influencée par la pollution de la surface terrestre. Sauf pour certaines nappes phréatiques contaminées par les polluants de surface. Les eaux des nappes souterraines très profondes représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable car elles sont moins vulnérables aux pollutions que les eaux des nappes peu profondes et les eaux de surface. Ceci grâce à la présence d'un filtre naturel constitué par différents matériaux géologiques. Donc ces eaux sont le plus souvent d'une très bonne qualité, avec

notamment de très faibles teneurs en microorganismes et autres substances en suspension. L'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables, du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement (parfois même aucun traitement) avant leur distribution dans un réseau d'eau potable.

I.2.1. 1. Origine des eaux souterraines

On distingue, trois types des nappes des eaux souterraines, à savoir :

+ Nappe libre

Les nappes libres communiquent avec la surface et sont généralement peu profondes, elles sont alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. L'eau percole jusqu'à la nappe dont le niveau monte ou baisse en fonction des précipitations. Elle se renouvelle rapidement. Les nappes phréatiques appartiennent à ce type des nappes.

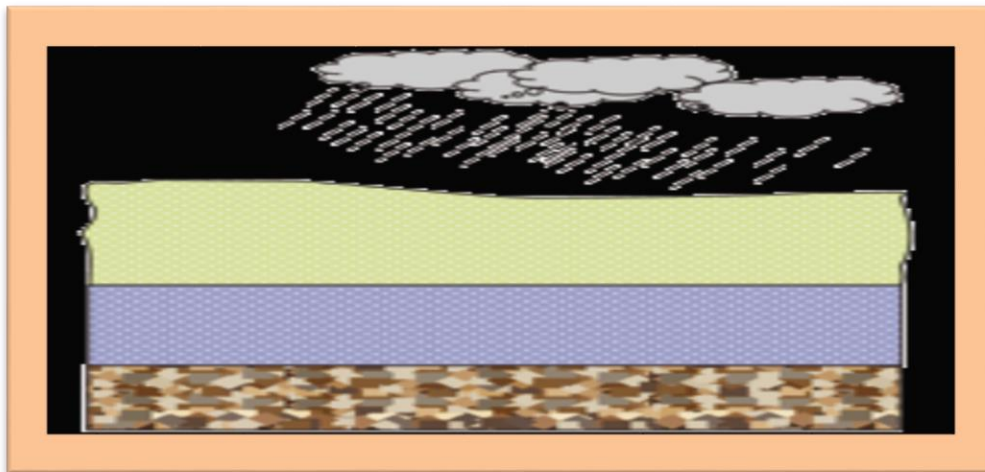


Fig 2 : Nappe libre

+ Nappe alluviale

C'est une nappe située dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

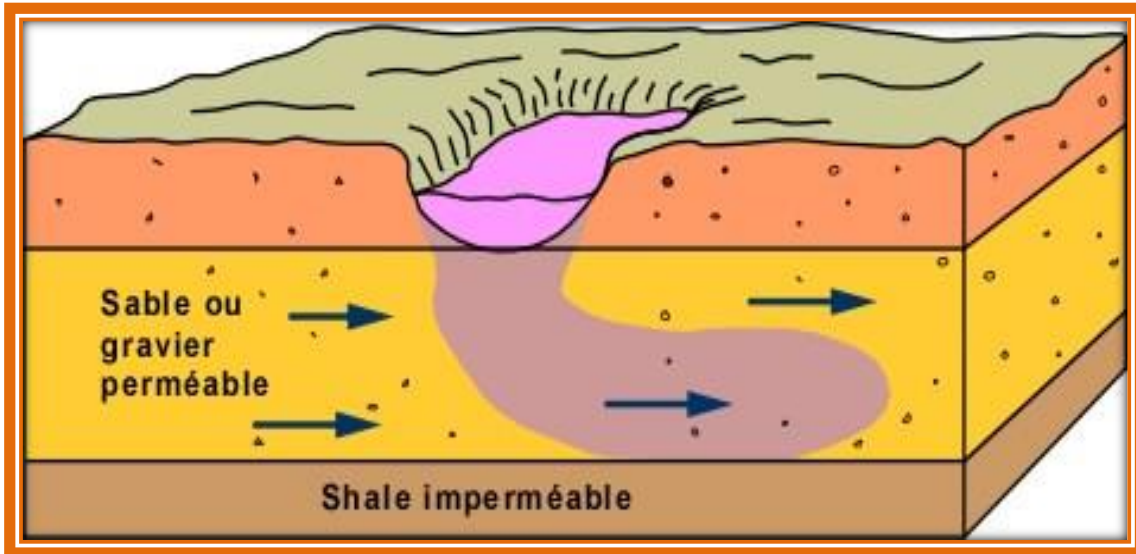


Fig 3 : Nappe alluviale

✚ Nappe captive

Les nappes captives sont comprises entre deux couches géologiques imperméables qui confinent l'eau sous pression. Celle-ci peut jaillir dans des forages dits artésiens. Les nappes captives sont souvent profondes de quelques centaines de mètres voire plus. Elles se renouvellent plus lentement. Leur alimentation provient pour partie de la zone affleurant de l'aquifère.

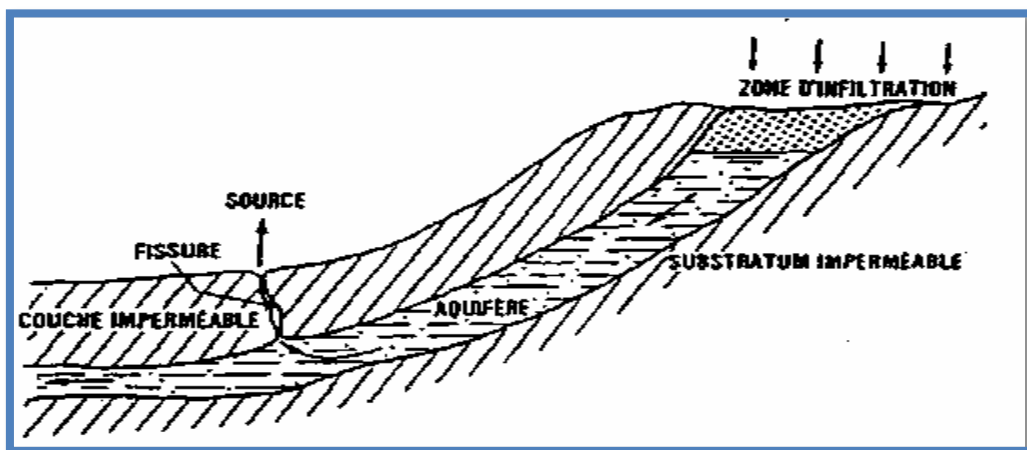


Fig 4 : Nappe captive

I.2.2. Eaux de surface

Les eaux de superficielles (surface), ce sont des eaux qui se trouvent à la surface terrestre peuvent être des eaux courantes (rivières ou fleuves) ou des eaux stagnantes (lacs et retenues naturels ou artificiels, lacs, étangs, barrages...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Elles sont

fréquemment contaminées et se caractérisent par une forte charge en impuretés et par une pollution biologique et surtout chimique. Ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Elles sont chargées d'une concentration importante en matières en suspension et matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux.

I.2.2. 1. Origine des eaux de surface

Elles viennent, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source d'eau minérales ou de source soit par l'accumulation des eaux de pluie pour constituer de ruisseau, de rivière, etc. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages).

I.2.3. Critères de choix de la ressource

- **Quantité** : Choisir une source capable de fournir en toutes circonstances la quantité d'eau nécessaire (exemple : barrage) ;
- **Qualité** : Elle doit être compatible avec la réglementation en vigueur ;
- **Coût** : Comparaison des coûts d'investissement et de fonctionnement relatifs à chacune des ressources.

I.2.4. Protection des ressources

Afin de protéger les ressources utilisables pour la production d'eau potable, un outil réglementaire a été mis en place. Il s'agit des périmètres de protection.

I.2.4. 1. Objectif des périmètres de protection

L'objectif principal des périmètres de protection vise à assurer la protection des points de captage contre les sources de pollutions ponctuelles et accidentelles pouvant survenir dans leur proche environnement.

I.2.4. 2. Les niveaux de périmètre de protection

Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Cette protection peut être mis en place, trois niveaux pour chaque captage (Figure 5) :

✚ Le périmètre de protection immédiate

Sa réalisation est obligatoire, comprend le terrain directement adjacent au point de captage et doit être entièrement clôturé et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés. Aucune activité n'est tolérée à l'intérieur, à l'exception de celles qui sont liées à la maintenance des ouvrages.

✚ Le périmètre de protection rapprochée

A l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle.

Le périmètre de protection éloignée

C'est un périmètre non obligatoire, sa superficie et sa géométrie varient de manière significative d'un captage à l'autre, en fonction des conditions hydrogéologiques, du degré d'urbanisation et de l'existence d'activités polluantes potentielles.

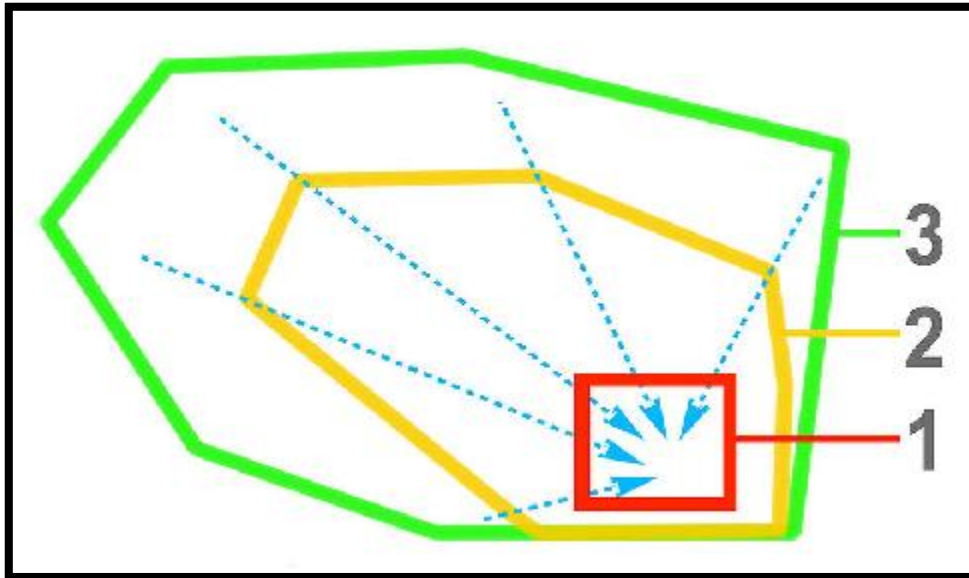


Figure 5 : Schéma des niveaux de périmètre de protection

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DES EAUX NATURELLES

II .1. Principaux paramètres physico-chimiques et biologiques mesurables

La qualité de l'eau fait référence aux caractéristiques chimiques, physiques, biologiques de l'eau, des eaux de surface, des eaux profondes et des eaux souterraines. C'est une mesure de l'état de l'eau par rapport aux besoins d'une ou plusieurs espèces biotiques ou à tout besoin ou but humain. Elle est utilisée plus fréquemment en référence à un ensemble de normes permettant d'évaluer la conformité. La qualité d'eau diffère selon la pollution, les endroits, les temps et les profondeurs. La qualité de l'eau est influencée par les processus naturels et par la pollution de l'eau par les humains.

II .1. 1. Caractéristiques organoleptiques

Les facteurs organoleptiques constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution qui présentent un risque pour la santé. 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.

Couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 mg/l platine. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. La coloration d'une eau placée dans des tubes à colorimétrie est comparée soit avec celle d'une solution de référence de platine-cobalt soit avec des disques de verre colorés et exprimée en unités Hazen.

Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune, perçue lors de la boisson. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles. Les eaux de consommation doivent posséder un goût agréable. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si

minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler. Les échantillons doivent être prélevés dans des récipients en verre hermétiques. Il faut bannir les récipients en plastique. L'examen doit être pratiqué le plus rapidement possible après le prélèvement. L'échantillon peut éventuellement être conservé à 4 °C en évitant toute mise en contact avec des odeurs étrangères. Le temps de stockage ne doit pas dépasser 72 heures.

La turbidité (transparence)

C'est un paramètre qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes,...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. La turbidité d'une eau est l'inverse de sa transparence ; L'eau de boisson ne doit présenter une turbidité supérieure à 5NTU. Sa valeur considérée comme très forte pour des eaux de surface présentant une turbidité supérieure à 3000 NFU. Les valeurs peuvent atteindre 10000 NFU dans des bassins versants fortement érodés ou lors d'épisodes pluvieux. La turbidité est également considérée comme un indicateur indirect du risque microbiologique, car certains microorganismes tels que les virus peuvent y être associés (par adsorption). Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur. on mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

Tableau 1 : classes de turbidité usuelles (NTU, Nephelometric turbidity unit)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU > 200	eau de surface "Africaine"

II .1. 2. Caractéristiques physiques

La température

La température est un facteur écologique important pour les milieux aqueux, elle est liée d'une part, aux variations saisonnières et journalières de la température ambiante et d'autre part, aux rejets des activités anthropiques (eaux de refroidissement). Sa perturbation peut influencer la vie aquatique (pollution thermique). Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Dans les eaux naturelles et au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables

ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Elle joue un rôle important dans les processus bactériens comme la nitrification et la dénitrification. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C, par contre elle est fortement diminuée pour des températures comprises entre 12 et 15°C. Les températures inférieures à 5°C sont défavorables à ce phénomène. Plusieurs paramètres dépendent de la température de l'eau comme le pH et l'oxygène dissous. Il existe des sondes portables qui permettent de mesurer la température avec des précisions de $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) sont des particules d'origine minérale et organique caractérisées par une faible taille et/ou densité, ce qui leur permet de se déplacer dans les cours d'eau sans toucher au fond. La teneur et la composition des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc...). Elles dépendent de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des rejets, du développement des microorganismes. D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'adsorption, aussi bien sur les éléments chimiques à tat de traces que sur les micro-organismes. Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, ce qui engendre des conséquences graves sur l'état biologique des cours d'eau telles que la mort des végétaux.

Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique.

Le pH est un paramètre très important dans l'environnement car un rejet avec un pH trop faible ou trop fort peut avoir un effet néfaste sur les organismes aquatiques : plus un rejet s'éloigne de la neutralité, plus la vie biologique est perturbée voire difficile ; par exemple, des eaux basiques ($\text{pH} > 8$) favorisent la formation d'ammoniaque NH_3 qui est toxique pour les poissons est pour les eaux acides ($\text{pH} < 6$) favorisent la solubilisation des métaux ;

Le pH des eaux naturelles peut varier de 6,5 à 8,5 selon leur origine, la nature géologique des terrains traversés, mais aussi le niveau de pollution.

Tableau 2 : Classification des eaux d'après leur pH

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

Oxygène dissous

C'est une grandeur importante de l'écologie des milieux étudiés. Elle est essentielle pour la respiration des organismes vivants hétérotrophes. La concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans l'eau est exprimée en mg/l. Le dioxygène dissous provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (maximum 9 mg /l à 20°C). Il dépend de nombreux facteurs comme la température de l'eau, le taux des éléments dissous dans le milieu, ainsi que la pression partielle en oxygène dans l'atmosphère.

De plus, la présence des quantités importantes de matières organiques dans les eaux souvent d'origine anthropique, peut provoquer un déficit d'oxygène dissous dans le milieu aquatique. Cela est lié à la consommation de l'oxygène du milieu par les microorganismes qui dégradent des matières organiques. La valeur critique pour les poissons correspond à une teneur en oxygène inférieure à 4 mg /L

- Une eau de bonne qualité est caractérisée par une teneur comprise entre 4 et 6 mg/L
- Globalement, plus la concentration en oxygène dissous (OD) est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande :
 - Une valeur inférieure à 1mg d'O₂ par litre indique un état proche de l'anaérobie et seuls les organismes anaérobies peuvent se développer en transformant le carbone en méthane CH₄, le soufre en dihydrogène de soufre H₂S, et l'azote en ammoniac NH₃ et amines. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments.
 - Une valeur de 1 à 2mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible ;

- Une teneur de 4 à 6mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité ;
- Des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense.

Conductivité électrique (CE)

La conductivité est l'inverse de la résistivité. Elle permet d'évaluer la quantité de substance minérale dissoute sous forme ionique (elle est globalement proportionnelle à la teneur en sels dissous.). Plus la concentration en solutés dissous sera importante, plus la conductivité sera élevée. La conductivité donne donc une information sur la quantité de cations (calcium, potassium, magnésium, etc.) et d'anions (chlorures, sulfates, phosphates, nitrates, etc.) contenus dans une solution. C'est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à 20 °C et varie proportionnellement avec la minéralisation. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. Elle est peut-être utilisée comme indicateur de pollution dans les études environnementales, pour montrer les apports importants en sels d'origine naturelle (bassin versant) et/ou anthropique.

Dureté totale

La dureté d'une eau ou son **titre hydrotimétrique (TH)** exprime sa concentration en sels de calcium (Ca²⁺) et de magnésium (Mg²⁺) ces deux éléments proviennent de la dissolution à partir des roches calcaires ou dolomitiques. La dureté est liée à la nature des terrains traversés par une eau. Si l'eau présente une forte concentration de ces sels minéraux, on dit qu'elle est dure (c'est le cas des eaux provenant des sols calcaires) **TH > 30 °F**. A l'inverse, si cette concentration est faible, l'eau est dite douce lorsque son **TH < 30 °F**, ce qui est le cas pour les eaux qui traversent des sols granitiques. Une eau dure, par son apport en calcium et en magnésium, est bonne pour la santé, mais elle accélère par contre l'entartrage des conduites et réagit mal au savon. A l'inverse, une eau trop douce a tendance à corroder les canalisations. Il existe une dureté permanente et une dureté temporaire, l'unité de mesure de la dureté d'une eau est milli équivalent par litre, degré français (symbole : °F) ou mg de CaCO₃ par litre.

Charge en matières organiques

Deux méthodes permettant d'évaluer la quantité en matière organique présente dans l'eau :

La demande biochimique en oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO).

- **La demande biochimique en oxygène (DBO)**

La demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Ces deux méthodes se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique présente dans un échantillon d'eau.

La demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau et qui constituent leur source de carbone (graisses, hydrates de carbone, tensioactifs, etc.). Ce prélèvement d'oxygène se fait au détriment des autres organismes vivants du milieu aquatique. En ce qui concerne les eaux domestiques, environ 70% des composés organiques sont généralement dégradés après 5 jours et la dégradation est pratiquement complète au bout de 20 jours. L'indicateur utilisé est généralement la DBO₅ qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée. La DBO₅ des eaux naturelles est inférieure à 2 mg/l. Les eaux recevant des rejets domestiques présentent des concentrations supérieures à 10 mg/l.

Tableau 3 : Echelle de valeurs de DBO₅

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

- **La demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène est un paramètre indicateur de pollution. Elle correspond à la teneur en oxygène nécessaire pour dégrader l'ensemble des matières oxydables, biodégradables ou on quelle que soit leur origine organique ou minérale. On exprime la DCO par la quantité d'oxygène fournie par le bichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate de mercure nécessaire à

l'oxydation des substances organiques totales présentes dans l'eau C'est la quantité d'oxygène nécessaire à oxyder les matières existantes dans l'eau.

Matière minérale des eaux naturelles

La minéralisation des eaux minérales naturelles, représente la quantité totale des sels dissous exprimée en mg/l d'eau, le résidu sec à 180 C° est un bon témoin de la teneur en sel minéraux. Les sels minéraux représentent la partie la plus importante des composés en solution dans les eaux naturelles. 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. La minéralisation des eaux profondes est en général supérieure à celle des eaux de surface et il y a lieu de tenir compte à la fois, de sa nature et de son importance.

Nous donnons ci-dessous une liste principale non exhaustive des espèces minérales susceptibles d'être rencontrées dans les eaux naturelles et précisons les éventuels inconvénients qui résultent de leur présence.

Minéralisation totale = Conductivité × K, K : facteur de correction

- **Calcium (Ca²⁺)**

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaire sous forme de carbonates. Est un composant majeur de la dureté totale de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. C'est un composant majeur de la dureté totale de l'eau. Les eaux de boisson ne doivent pas être dépassées 200 mg/l de Ca²⁺, les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières.

De fortes teneurs en calcium peuvent entraîner des désagréments d'ordre domestique :

- Formation de tartre ;
- Utilisation excessive de lessives ;
- Cuisson difficile des légumes.

- **Magnésium (Mg²⁺)**

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. Le magnésium peut avoir deux gains : Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique. La dissolution du MgSO₄ des terrains gypseux.

- **Potassium (K⁺)**

Le potassium, est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau, sa présence est moins répandue dans la nature.

- **Sodium (Na⁺)**

Le sodium est un métal alcalin, les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture pour l'irrigation, du fait de son action positive sur la perméabilité des sols. Le sodium est un minéral essentiel pour le maintien de l'équilibre hydrique de l'organisme, il participe également à l'équilibre acido-basique qui donne au sang un pH stable, il faut donc le consommer en quantité suffisante mais sans excès.

- **Bicarbonates HCO₃⁻**

L'ion bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO₂ à partir des minéraux contenant des carbonates. On le trouve souvent à une concentration de 5-500mg. Les bicarbonates résultent de la dissolution de carbonates de calcium ou suite à l'hydrolyse de CO₂, comme le montre les équations suivantes.

- **Chlorures (Cl⁻)**

Ils sont les plus répandue dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl₂), la présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée aux effluents des industries chimiques ou rejets des égouts. Chacune de ses sources pollution peut contaminer localement les eaux de surface et les eaux de souterraines. A des concentrations élevées, ils peuvent provoquer des maladies rénales ou cardiovasculaires ou nuire le gout de l'eau en lui donnant une saveur salée.

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales). Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l).

➤ **Elément indésirables**

- **Fer (Fe²⁺)**

Dans les eaux souterraines, plus réductrices, le Fer va se retrouver sous forme ferreuse Fe²⁺ qui est soluble. Dans les eaux superficielles plus aérées, le Fer se trouve sous forme ferrique Fe³⁺, insoluble et

précipite sous forme d'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$; il sera donc associé aux matières en suspension. Le Fer est un élément essentiel de la nutrition humaine. Les limites de potabilité sont basées sur les effets esthétiques, les effets ménagers et sur les inconvénients qu'il procure au réseau de distribution. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer ou corrodent les canalisations. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant).

- **Manganèse (Mn^{2+})**

Le manganèse est un composé très commun que l'on peut trouver partout sur terre. Le manganèse est nécessaire à l'homme pour survivre mais il est aussi toxique lorsque des concentrations trop élevées sont présentes dans le corps humain. A des concentrations supérieures aux recommandations pour l'eau potable, le fer et le manganèse peuvent modifier le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau de puits.

- **Fluorures (F^-)**

Les teneurs des fluorures les plus élevées se trouvent fréquemment dans les eaux souterraines. On considère généralement qu'une faible teneur en ion fluorure dans l'eau (0.5mg/l) est favorable à la formation de l'email dentaire et protège les dents contre la carie. Des doses supérieures à 1.5 mg/l risque de faire, apparaître des taches sur l'email dentaire qui s'aggravent par des calcifications et des chutes des dents.

- **Les nitrates et nitrites**

L'azote existe sous deux formes bien connues : la forme organique non oxydée et peu soluble, (azote organique) ; la forme minérale et soluble (azote ammoniacal NH_3 ou NH_4^+ , nitrite NO_2^- , nitrate NO_3^-). Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates.

L'augmentation de la concentration des nitrates à plusieurs origines :

Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage ;

Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas totale et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel ;

Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés.

Le danger que représentent les nitrates pour la santé réside dans leur réduction en nitrites. En effet, ce phénomène qui se manifeste au niveau de la bouche et de l'estomac conduit à la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, laquelle est inapte au transport de l'oxygène. Il en résulte une maladie particulièrement grave pour les nourrissons, la méthémoglobinémie.

Les nitrites s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne). Les nitrites sont surtout nuisibles pour les jeunes poissons. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de plus de 3 mg NO₂ et peut provoquer de l'hypotension chez les adultes et la méthémoglobinémie chez les nourrissons. Donc, il est conseillé qu'une eau potable ne doit pas contenir plus que 0.1 mg/l en azote nitreux.



Fig. 6 : Nitrification et dénitrification

- **Éléments toxiques**

Les éléments toxiques dans l'eau ayant une incidence sur la santé, ils regroupent les pesticides, les hydrocarbures et les métaux lourds (Mercure, Plomb, cuivre, Cadmium, nickel, chrome, zinc, arsenic Crome), Actuellement pour les éléments toxiques dans l'eau les teneurs tolérées sont de lus en plus minimes, parfois de l'ordre de micro de gramme/l. Les métaux lourds sont les éléments métalliques dont la densité absolue est supérieure à 5g/cm³, Les sources émettrices de ces éléments peuvent être naturelles (volcans, incendies de forêt, etc.) ou anthropiques (activité pétrochimique, transports routiers et embarcations, incinération de déchets, etc.). Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité.

Les métaux ont, de façon générale, des effets toxiques sur les êtres vivants, plus ou moins importants. Certains sont cependant des éléments indispensables à faible dose pour les êtres vivants comme le cuivre, le sélénium, et le zinc. Le cadmium le mercure et le plomb n'ont pas de telles fonctions et sont toxiques à très faible dose. Les métaux lourds sont d'importants contaminants des écosystèmes et des chaînes alimentaires. Ils ne sont pas biodégradables.

II .1. 3. Caractéristiques bactériologiques

L'analyse biologique complémentaire de l'analyse chimique, fait apparaître différentes espèces de micro-organismes tels que les bactéries, les virus les planctons et les champignons. On distingue deux types de micro-organismes :

- ✚ Ceux qui sont pathogènes et provoquent des maladies ;
- ✚ Ceux qui sont saprophytes c.à.d. qui n'ont pas un effet sur la santé de l'être humain.

Rien n'est plus important que la qualité microbiologique d'une eau, car toutes sortes de maladies (fièvres, typhoïde, choléra, maladie entérovirale gastro-intestinales...), peuvent être transmises par l'eau. D'une façon idéale l'eau potable ne devra contenir aucun micro-organisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution fécale.

Bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau, leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. Elles se multiplient dans les eaux usées et dans les boues résiduaire. Les eaux usées contiennent en moyenne 10⁷ à 10⁸ bactéries/l. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10⁴ /l. Le nombre de germes peut être multiplié par 1000 dans les eaux de rivières après un rejet urbain. Ainsi, le nombre de coliforme fécaux passe de 10³ à 10⁶ par millilitre, après la zone de rejet d'une station d'épuration, qui collecte les eaux usées d'une grande ville. La voie de contamination majoritaire est l'ingestion.

Virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Certains virus se multiplient dans le système digestif humain ou animal et sont excrétés dans les matières fécales lors d'une infection. Ils ne se reproduisent pas une fois à l'extérieur du corps. On peut retrouver plus de 150 types de virus dans les eaux usées.

Protozoaires

Les organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent

aux dépens de leur hôte. Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes.

Helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistantes et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre 10 à 10^3 œufs/l.

II .2 . Echantillonnage et Contrôle de la Qualité de l'Eau

II .2 . 1. Comment recueillir des échantillons d'eau

Il est important de recueillir des échantillons d'eau dans les conditions normales de tous les jours, afin d'obtenir un échantillon représentatif. Les procédures adéquates pour la collecte d'échantillons doivent également être respectées. Les techniciens doivent être correctement formés car la façon dont les échantillons sont recueillis a un impact important sur les résultats des tests. Les échantillons doivent être recueillis dans un verre borosilicate neutre, une bouteille ou un sachet en plastique ayant été nettoyé, rincé et stérilisé.

100 ml est le volume minimum d'un échantillon afin d'obtenir des résultats fiables, notamment pour les analyses microbiologiques.. Chaque récipient à échantillon doit porter une étiquette. Celle-ci doit afficher des informations concernant :

- Le nom du projet ;
- La provenance de l'échantillon (ex: foyer, source) ;
- La description de l'échantillon (ex : arrivée d'eau, eau du seau de stockage) ;
- Un numéro d'identification ;
- La date et heure ;
- Le nom de la personne ayant recueilli l'échantillon ;
- Le test à effectuer (facultatif) Il faut prendre garde à ne pas contaminer le récipient et l'échantillon d'eau.
- Les procédures générales pour la collecte d'échantillons d'eau potable sont les suivantes :
Ne pas toucher l'intérieur du récipient à échantillon ;
- Ne pas rincer le récipient à échantillon ;
- Ne pas poser le couvercle du récipient sur le sol pendant que l'échantillon est recueilli ;
- Toujours étiqueter le récipient avant collecte de l'échantillon.

II .2 . 2. Transport des échantillons d'eau

Les analyses bactériologiques doivent être commencées moins de 6 heures après le Prélèvement. Si le transport dépasse 6 heures ou si la température extérieure est Supérieure à 10°C ; le transport doit se faire obligatoirement en glacière à une température inférieure à 4°C. En fin, les prélèvements sont placés aux froids dès leurs arrivés au laboratoire avant de commencer les analyses.

II .2 . 3. Contrôle de la qualité de l'eau

La section suivante décrit les pratiques et actions que vous pouvez accomplir afin de garantir des résultats de tests précis et fiables. Il existe deux types d'erreurs qui se produisent fréquemment durant les analyses de qualité de l'eau : aléatoire et systématique. Les erreurs aléatoires (souvent liées à la précision) sont dues à différentes sources non mesurables. Parmi ces sources potentielles d'erreurs aléatoires on peut trouver :

- La variance indétectable dans les mesures individuelles utilisées pour la mesure globale, comme les valeurs de volume, masse et échelle.
- Les fluctuations dans l'intensité de la lumière, la température, l'humidité, l'alimentation électrique et les effets électromagnétiques ;
- La variance humaine :
- La détérioration indétectable des ressources : humaine (vigilance/fatigue), matériel (étalonnage/standardisation) et produits chimiques (qualité) Les erreurs systématiques (souvent liées aux préjugés) proviennent de différents sources ou jugements de valeur mesurables qui peuvent être identifiés, réduits, voire éliminés dans certains cas. Les erreurs systématiques produisent habituellement une divergence (ou décalage).

CHAPITRE III : NORMES ET QUALITE DES EAUX NATURELLES

III.1. Normes de qualité des eaux

L'étude des eaux a pour objet de déterminer leurs possibilités d'utilisation. Elle comporte une analyse physico-chimique et un examen bactériologique. Grâce à ces analyses, on détermine les limites d'utilisation d'une eau soit :

- A usage domestique ;
- A usage industriel (réfrigération, fabrication).

L'analyse physico-chimique permet de déceler les eaux risquant d'exercer une action chimique sur les canalisations et permet de définir les traitements de potabilisation.

L'examen bactériologique permet de déterminer la qualité microbiologique de l'eau, notamment en vue de son emploi comme eau potable.

L'unité de base pour la chimie de l'eau est le milligramme par litre (mg/l). Une unité également employée est le milliéquivalent par litre (meq/l) d'une substance dissoute et ionisée.

Une norme de qualité est définie comme étant la concentration maximale admissible (CMA) concernant les différents paramètres de pollution (physico chimique et microbiologique) des eaux destinées à la consommation humaine. Ces CMA sont calculées sur la base de travaux médicaux (OMS) qui déterminent la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie. Il existe plusieurs normes telles que les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS), les normes européennes, les normes algériennes ... ext).

Directive O.M.S : C'est une directive sans valeur impérative ; Elle sert de guide pour la législation des pays. Elle est donc adaptée dans chaque pays en fonction de leur état sanitaire et leur situation économique et selon la réglementation en vigueur.

Réglementation algérienne: Des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2014) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites. Le but de cette réglementation est de définir la relation qualité des eaux - état de santé du consommateur en vue de déterminer la norme.

Tableau 4 : Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau Potable OMS 2006 et JORA(2014)

Substances	Unité	Normes OMS	Normes Algériennes
Couleur	mg/l platine	Pas de valeur guide	15
Odeur à 25°C	Taux dilution	Acceptable	4
Saveur à 25°C	Taux dilution	Acceptable	4
Turbidité	NTU	5	5
Température	C°	25	25
Calcium	mg/l	/	200
Magnésium	mg/l	/	150
Chlorure	mg/l	250	500
ionshydrogène	PH	6,5 -9,5	6,5 -9
Dureté	mg/l de CaCO ₃	200	500
Conductivité à 20°C	µS/cm	Pas de norme	2800
Ammonium	mg/l	Pas de contraintes	0,5
Potassium	mg/l	250	12
Oxygène dissous	O ₂ %	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Fluorure	mg/l	1,5	1,5
Fer	mg/l	Pas de valeur guide	0,3
Nitrate	mg/l	50	50
Sulfate	mg/l	500	400
Sodium	mg/l	Pas de valeur guide	200
Phosphore	mg/l	Pas de norme	5
Résidusec	mg/l	/	1500

III.2. Qualité générale de la ressource en eau

III.2. 1. Classification de la qualité des eaux brutes

Selon la classification de l'ANRH et en fonction de la qualité des eaux naturelles on peut distinguer quatre classes :

- Classe I : Eau de bonne qualité, utilisée un traitement simple plus désinfection ;
- Classe II : Eau de qualité moyenne, utilisée après un traitement physico-chimique plus désinfection ;
- Classe III : Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement poussé (Traitement physico-chimique plus affinage plus désinfection) ;
- Classe IV : Pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après des traitements spécifiques et très onéreux.

III.2. 2. Définition de l'eau potable

L'eau de boisson destinée à la consommation humaine répond à diverses appellations (eau de robinet, eau de source, eau minérale...). Une eau de consommation ne contient pas d'organismes pathogènes, de composés chimiques dangereux ni de substances radioactives. Elle a un bon goût et une belle apparence. Elle ne dégage pas d'odeur et ne présente pas une couleur désagréable. C'est une eau non susceptible de porter atteinte à la santé de celui qui la consomme.

III.2. 3. Influence de l'origine de l'eau sur sa qualité

L'eau tire ses caractéristiques du milieu qu'elle traverse ; elle dissout les éléments chimiques qu'elle rencontre (roche et atmosphère) et les restitue aux milieux qui en sont pauvres :

+ Eau de pluie

Elles sont de bonne qualité, très douces (elles ne contiennent pas de sels dissous) et saturées en oxygène et en d'azote, Toutefois dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être polluées (Ex. pluies acides).

+ Eau de source

L'eau de source est également d'origine souterraine. Elle est potable à l'état naturel et embouteillée à la source. La différence entre une eau minérale et une eau de source c'est que :

- L'eau minérale naturelle possède une composition stable et est réputée pour ces propriétés thérapeutiques.
- L'eau de source n'a pas de composition stable, celle-ci peut varier ;
- L'eau minérale est tenue à une stabilité en sels minéraux et oligoéléments ;
- L'eau de source sa teneur en minéraux et oligoéléments est variable et non garantie.

+ Eau du robinet

L'eau du robinet a une origine multiple : elle est souvent constituée d'eaux de surface prélevées dans les lacs, rivières, fleuves mais elle peut aussi être souterraine. Avant de parvenir jusqu'au robinet du consommateur, l'eau du robinet subit de nombreux traitements pour pouvoir répondre aux normes de potabilité définies par la réglementation. De ce fait, l'eau du robinet se distingue fondamentalement des eaux embouteillées en termes d'origine et de pureté.

+ Eau minérale naturelle

A l'abri de toute pollution humaine, les eaux minérales naturelles se caractérisent par leur pureté originelle et par la stabilité de leur composition en minéraux et oligo-éléments, ce qui leur confère des propriétés favorables à la santé reconnues par l'Académie nationale de Médecine. Elles font l'objet de centaines de contrôles quotidiens qui garantissent leur qualité et leur pureté. Elle ne peut être que d'origine souterraine, microbiologiquement saine dès l'origine, elle est protégée de toute

pollution humaine et ne subit aucun traitement de désinfection. Elle se caractérise également par la stabilité de sa composition en minéraux.

Eau filtrée

L'eau filtrée est de l'eau du robinet filtrée à travers du charbon actif et sur résine échangeuse d'ions. La filtration de certains polluants est souvent partielle et son efficacité dépend de l'état et des caractéristiques de la cartouche.

III.2. 4. Qualité des eaux de surface

Les eaux de surface sont très sensibles à la pollution, de qualité irrégulière et peuvent être réparties en trois catégories :

III.2. 4. 1. Les eaux de rivière (partie amont)

L'amont d'une rivière est en général situé dans des zones montagneuses (très peu peuplées et absence d'industrie). Elles sont caractérisées par :

- **Turbidité élevée** : Le régime des rivières étant torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension ;
- **Température base** : Ces eaux proviennent soit de sources, soit de la fonte des neiges et des glaces ;
- **Teneur en oxygène élevée** ;
- **Indice de couleur faible** : Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre des substances végétales, principales sources de couleur ;
- **Contamination physico-chimique et bactériologique faible** ; La pollution causée par l'homme ou l'industrialisation y est pratiquement inexistante.

III.2. 4. 2. Les eaux de rivière (partie aval)

La partie aval des eaux de rivière se situe dans des zones urbanisées avec des activités industrielles et agricoles plus ou moins intenses, ces eaux sont caractérisées par :

- **Pollution organique et inorganique élevée** : Les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles qui peuvent être rejetés dans ces eaux contiennent de grandes quantités de matières organiques et inorganiques ;
- **Contamination bactériologique élevée** : Cette contamination est surtout imputable au déversement des égouts domestiques et agricoles ;
- **Température variable**
- **Indice de couleur pouvant être élevé** : Dans beaucoup de cas les eaux ont eu le temps de dissoudre des matières végétales qui les colorent.

III.2. 4. 3. Eaux de lac et du barrage

Ce sont des eaux stagnantes d'où, on peut considérer un lac ou un barrage comme des bassins de décantation naturelle dont la période de rétention est longue. Elles sont caractérisées par :

- Une contamination bactériologique faible ;
- Un Indice de couleur variable ;
- Une Turbidité faible sauf au printemps et en automne.

En effet durant ces deux saisons, on assiste à deux phénomènes :

- Le phénomène de renversement : La différence de Température entre les eaux profondes et les eaux de surface provoque un renversement des eaux du lac entraînant une augmentation de la turbidité ;
- Le phénomène d'eutrophisation : La prolifération des algues au printemps, altère la qualité de ces eaux (augmentation de la turbidité, augmentation de l'indice de couleur, diminution de l'O₂, modification du goût et de l'odeur...).

III.2. 4. 4. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 7.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles).

Ces eaux sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement.

Tableau : 5 Salinité des eaux de quelques océans et mers

Origine de salinité	(g/l)
Atlantique et Pacifique	32à35
Mer Méditerranée	38à40
Mer Rouge	43à45
Mer Morte	270

III.2. 5. Les eaux souterraines

Elles sont souvent à l'abri de toute source de pollution. Leur qualité est généralement meilleure (filtrées par le sol) et plus constante, elles ne nécessitent souvent qu'une désinfection. Leurs principales caractéristiques sont :

- **Turbidité faible** : Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol ;
- **Indice de couleur faible** : Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les matières végétales sources de couleur ;

- **Température constants** : Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère
- **Débit constant** : Contrairement aux eaux de surface, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constante durant toute l'année ;
- **Dureté élevé** : Les eaux souterraines peuvent être en contact des formations rocheuses contenant des métaux bivalents (Mg^{+2} , Ca^{+2} ...ext) responsables de la dureté ;
- **Contamination bactérienne faible** : Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de substances végétales ne favorise pas l'accroissance des bactéries ;
- **Concentration élevé de fer et de manganèse** : Ces métaux souvent présents dans le sol sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous.

Tableau 6 : Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines

<i>Caractéristique</i>	<i>Eaux de surface</i>	<i>Eaux souterraines</i>
<i>Température</i>	<i>Variable suivant les saisons</i>	<i>Relativement constante</i>
<i>Turbidité</i>	<i>Variable parfois élevée</i>	<i>Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)</i>
<i>couleur</i>	<i>Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)</i>	<i>Liée sur tout aux matières en solution (acides humique...)</i>
<i>Minéralisation globale</i>	<i>Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...</i>	<i>Sensiblement constant en général Nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région</i>
<i>Fer et Manganèse</i>	<i>Généralement absents</i>	<i>Généralement présents</i>
<i>H₂S</i>	<i>généralement absent</i>	<i>souvent présent</i>
<i>NH₄</i>	<i>présent seulement dans les eaux polluées</i>	<i>présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne</i>
<i>O₂ dissous</i>	<i>le plus souvent au voisinage de la saturation : absente dans le cas d'eau très polluées</i>	<i>absent la plupart du temps</i>
<i>Nitrates</i>	<i>Peu abondants en général</i>	<i>Teneur parfois élevée</i>
<i>CO₂ agressif</i>	<i>généralement absent</i>	<i>souvent présent en grande quantité</i>
<i>Micropolluants minéraux et organiques</i>	<i>Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source</i>	<i>Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps</i>
<i>Elements vivants</i>	<i>bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)</i>	<i>ferrobactéries et sulfatoréductrices fréquente</i>

Tableau 7 : Grille de la qualité des eaux superficielles (ABH, 2009)

Classe Paramètres	unité	Très bon	Bon	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
O ₂ dissous	mg/l'd'o ₂	>7	5 à 7	3 à 5	<3	0
DCO	mg/l'o ₂	20	30	40	80	>80
DBO ₅	mg/l'o ₂	3	6	10	25	>25
NH ⁴⁺	mg/l	0.5	1.5	2.8	4	>4
$\bar{\text{NO}}_3$	mg/l	2	10	25	50	>50
PO ₄ ³⁻	mg/l	0.1	0.5	1	2	>2
NO ₂ ⁻	mg/l	0.03	0.3	0.5	1	>1
Conductivité	µs/cm	180-2500	120-3000	60-3500	0-4000	>4000

Tableau 8 : La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon ABH,2009

Classe					
	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
Qualité Chimique	Eau exempte de pollution	Eau de qualité moindre pouvant satisfaire tous les usages	Eau de qualité médiocre, suffisante pour les usages peu exigeants	Eau polluée, inapte à la vie biologique	Eau très polluée inapte à tous les usages, pouvant constituer une menace pour la santé publique et l'environnement
Biologie	Tous les Taxons	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
Eau potable	Acceptable	Traitement simple	traitement classique	traitement complexe	Inapte

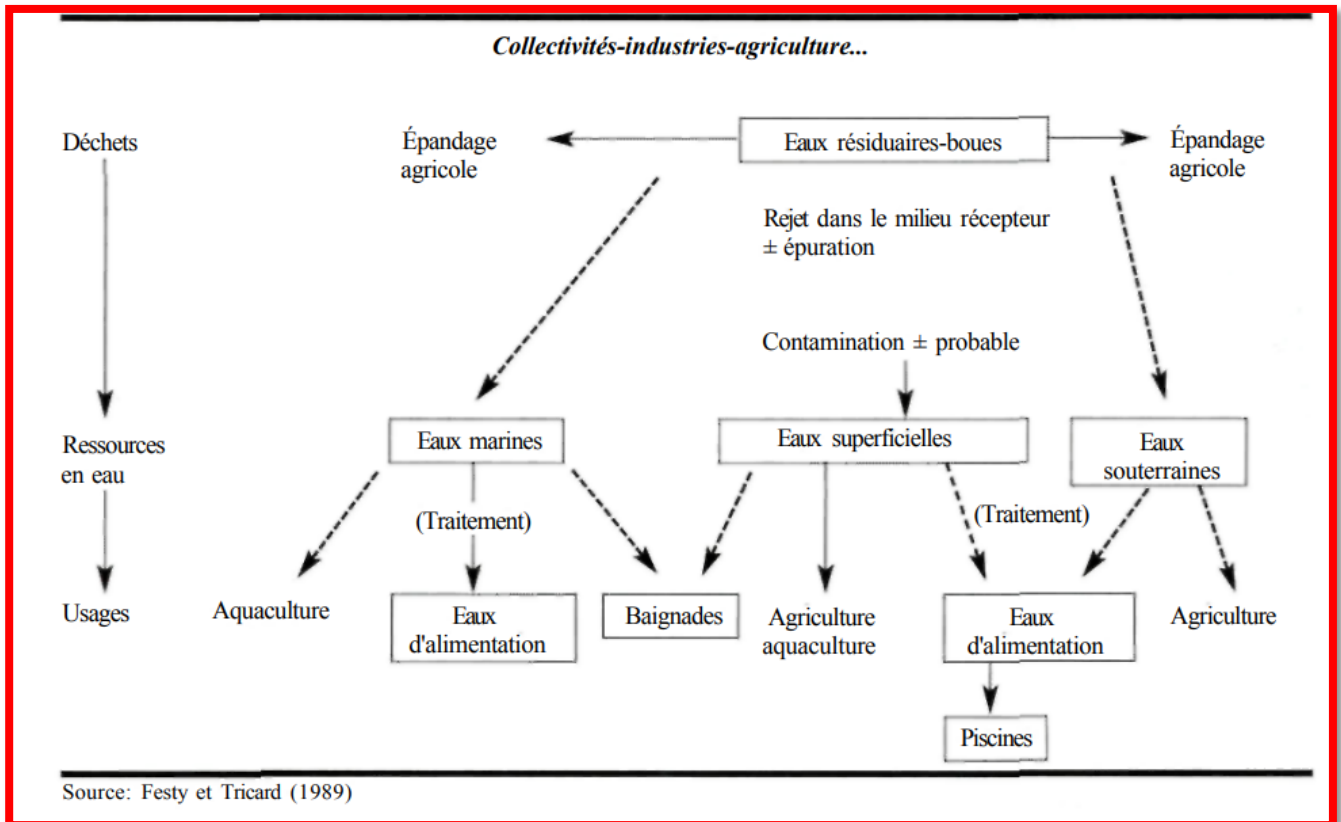


Fig. 7 : Ressources, Usages et pollution des eaux

CHAPITRE IV: POTABILISATION ET IMPACT DES EAUX NATURELLES BRUTES

IV 1. Prétraitement

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement ce qui suit :

✚ Le dégrillage

Le dégrillage est avant tout destiné à l'élimination de gros objets : feuilles, morceaux de plastiques, morceaux de bois, etc. Le dégrillage, permet donc de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement.

Le dégrillage est classé en 03 catégories selon l'écartement entre barreaux de grille :

- Le pré-dégrillage, pour un écartement $e = 30-100$ mm ;
- Le dégrillage moyen pour un écartement de $e = 10$ à 30 mm ;
- Le dégrillage fin pour un écartement inférieur à 10 mm.



Fig. 8 : Dégrilleur à nettoyage manuel

✚ Le tamisage

Le tamisage est en fait un dégrillage poussé, et consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamisage (mailles $> 0,3$ mm) et un micro-tamisage ($< 100\mu\text{m}$). Le tamisage permet donc d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de par exemple.

Dessablage / Débourbage

Par séparation solide-liquide, cette étape a pour but d'extraire le sable et les boues (limons et argile) des eaux brutes.

Dégraissage et déshuilage

Par séparation des graisses (liquide-solide) et des huiles (liquide-liquide) de densité légèrement < à l'eau.

IV 2. Peroxydation

L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. On va les détruire dans la mesure du possible par une oxydation. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes :

- Ajoute de Chlore (préchloration) ;
- Ajoute de dioxyde de chlore ;
- Ajoute d'ozone (préozonation).

Le chlore est le plus réactif et le plus économique, mais il a comme inconvénient de former avec certains micropolluants des composés organochlorés du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables.

C'est pour cela, on évite de l'utiliser dans cette étape et employer un autre oxydant efficace. La peroxydation, ou oxydation par l'ozone, permet de :

- Eliminer l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse
- Réduire les goûts, les couleurs et les odeurs
- Améliorer les performances du traitement ultérieur de clarification
- Maintenir la propreté des installations.

IV 3. Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES d'une eau brute ainsi que des matières dissoutes. La clarification comprend les opérations suivantes : La coagulation-floculation, décantation et Filtration.

La coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique de clarification des eaux, il réside dans la formation par l'addition de coagulant, trames floconneuses appelées «Flocs».

✓ Principe

- La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique, le coagulant. Les principaux coagulants utilisés sont les sels d'aluminium et de fer :
- La floculation est une agglomération des particules colloïdales déstabilisées avec formation de floccs. Elle peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif : le flocculant ou adjuvant de floculation : Silice SiO_2 , alginat de sodium, amidons.

Coagulation

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant avec une agitation rapide, afin de faciliter leur agglomération en floccs décantables ou filtrables. Le coagulant qui peut être introduit dans un bassin de coagulation est le sulfate d'alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et produire des floccs sont :

- Le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$
- L'aluminat de sodium NaAlO_2 • le chlorure ferrique $\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$
- Le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, 9 \text{H}_2\text{O}$
- Le sulfate ferreux $\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$.

L'efficacité de ces coagulants est directement liée à la valence des cations utilisés. Ainsi un ion divalent est jusqu'à 200 fois plus efficace et un trivalent jusqu'à 10000 fois plus efficace qu'un monovalent. La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes.

Floculation

C'est une opération complémentaire à la coagulation, elle vise à favoriser la croissance de floccs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation, elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant. Elle complète la phase de coagulation et vise à assurer une plus grande cohésion du flocc et une meilleure vitesse de sédimentation. L'adjuvant ou le flocculant peut être introduit dans un bassin de floculation est le poly-électrolyte. Le temps nécessaire pour la coagulation-floculation est de 20 à 30 minutes.

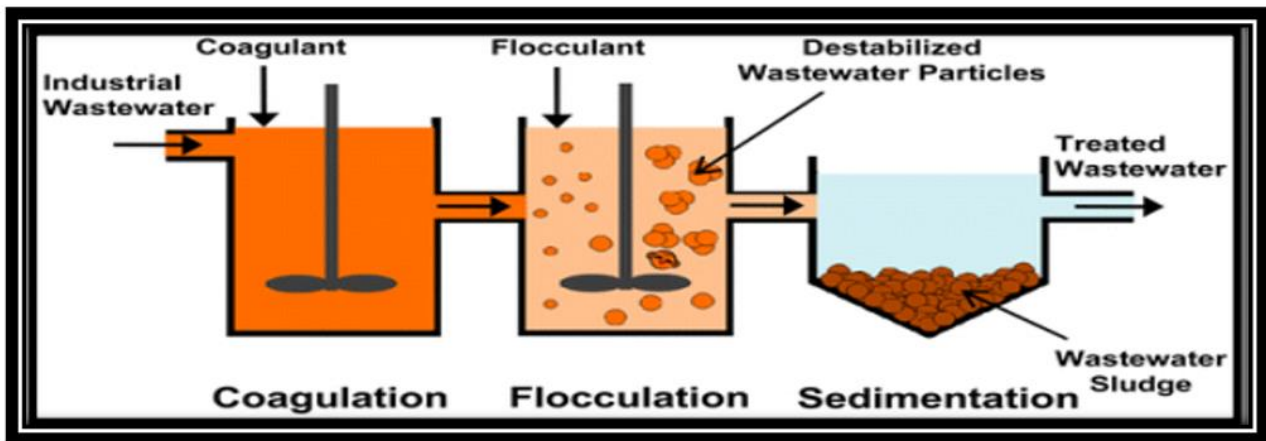


Fig. 9 : Coagulation-floculation

✚ La décantation

La décantation est une opération unitaire, parmi les techniques de séparation liquide - solide basée sur le phénomène de sédimentation, qui consiste à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires, pour qu'il puisse y avoir séparation effective faut-il encore que les forces de gravité soient suffisamment élevées par rapport aux effets antagoniste : effet de frottement, champ de turbulence, répulsion électrostatique courant de convection, etc. Toutes les constructions de décanteurs modernes conçues pour clarifier l'eau sont en état dynamique, car la décantation des matières en suspension se passe pendant l'écoulement continu de l'eau de l'entrée à la sortie. Par ailleurs la vitesse d'écoulement d'eau dans les décanteurs doit être très faible.

Egalement, nous pouvons dire que la décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des MES (Matière en suspension) et colloïdes (rassembles sous forme de oc après l'étape de coagulation / floculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide / liquide basé sur la pesanteur.

On distingue deux types de décantation :

- décantation des particules grenues (MES) ;
- décantation des particules floculantes (flocs).

✓ Décantation des particules grenues

Ce type de décantation est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales : forme, dimension et densité. La vitesse de chute de la particule est indépendante de la concentration en solides, et augmente jusqu'à ce que la force de décantation (poids) s'équilibre avec les forces de frottement : la vitesse de sédimentation est donc constante.

✓ Décantation des particules floculantes

Durant la décantation, les particules s'agglomèrent à un certain rythme formant ainsi des particules de dimension et de densité qui augmentent. La vitesse de chute de la particule varie au cours de la décantation et ne dépend que de la concentration locale en particules.

+ La filtration

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES invisibles mais encore présentes en le faisant passer à travers un milieu poreux pour y retenir les particules solides tout en laissant passer la fraction liquide. Les forces utilisées pour entraîner le liquide à travers le solide sont produites, soit par pression positive en amont du filtre, soit par création d'un vide en aval. La filtration permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs. Elle se réalise sur des matériaux classiques (sable) ou adsorbants (charbon actifs en grain ou en poudre). Certaines installations utilisent des membranes capables de filtrer les particules d'une taille infime (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration).

✓ Filtration sur sable

Ce procédé permet l'extraction extensive des particules par passage de l'eau sur un lit de sable fin (~0,1 - 1 mm) à la vitesse de 0,06 – 0,3 m/h. Il s'agit souvent de la dernière étape de traitement avant la protection du réseau. Du fait de la longue durée de séjour de l'eau dans le lit de sable (5 - 10 h, épaisseur 0,7 – 1,2 m), l'extraction des impuretés dissoutes et particulaires conjugue tamisage, filtration et sorption. Parallèlement s'y déroule une destruction de microorganismes pathogènes (par manque de nutriments, température, prédation, etc.) et se crée une activité biologique entraînant une biodégradation significative de composés organiques biologiquement assimilables (COA). On notera tout spécialement, dans ce contexte, le biofilm (ou « membrane biologique ») de quelques centimètres d'épaisseur qui se forme à la surface du filtre. Il s'y déroule notamment des processus de filtration, de nitrification et de minéralisation de substances organiques. Ainsi, ce procédé présente de très bonnes performances de purification du fait de la longue durée de filtration et de la finesse du sable.

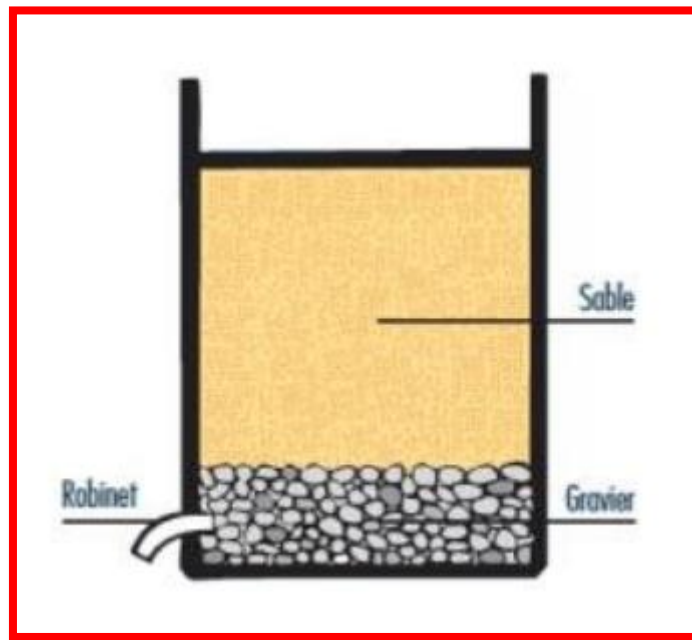


Fig. 10 : Filtration à sable

✓ **Filtration à sable biologique**

Les filtres à sable biologiques permettent un traitement complet et très efficace de l'eau. Grâce à un niveau de l'eau maintenu constant à l'intérieur du filtre, il y a installation d'une activité biologique qui élimine les germes pathogènes. Le filtre n'est pas efficace pendant les premières utilisations car le filtre biologique n'a pas encore eu le temps de se former. Il faut environ 3 semaines à la couche biologique pour parvenir à sa complète maturité. Le filtre possède une plaque de diffusion servant à éviter de creuser le sable quand on y verse l'eau. L'eau s'écoule à travers du sable fin. Le bas du filtre est composé d'une couche de sable grossier et d'une couche de graviers. Un tuyau en PVC remonte jusqu'à la hauteur du haut de la couche de sable, afin de maintenir le niveau d'eau constant à l'intérieur du filtre. Le principal inconvénient de ce filtre est que l'eau s'écoule de plus en plus lentement au fur et à mesure qu'on l'utilise. Lorsque le traitement devient trop lent, il faut remplacer le sable.

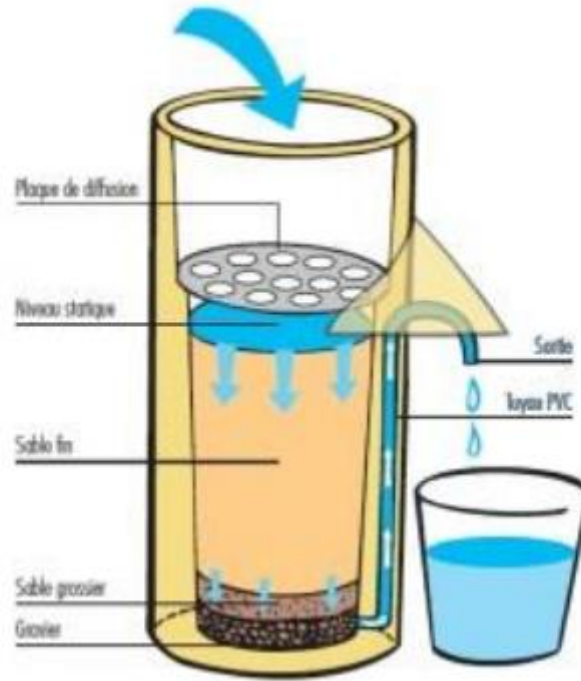


Fig. 11 : Filtration à sable biologique

✓ **Filtration a charbon actif**

Filtration de l'eau au charbon actif Le charbon actif est utilisé depuis des siècles pour filtrer l'eau destinée à la consommation humaine. Toutes nos fontaines à eau sont équipées d'un système de filtration de l'eau au charbon actif qui garantit une eau plus propre et plus agréable à boire qu'à son arrivée dans la machine. Les filtres au charbon actif agissent sur la qualité organoleptique de l'eau en lui retirant le chlore, les contaminants, les particules et les autres facteurs de goûts et d'odeurs indésirable. Boire de l'eau filtrée est un premier pas dans la démarche de l'eau pure. Et la bonne nouvelle, c'est que les nutriments essentiels sont conservés. Les minéraux naturels traversent le filtre pour vous apporter tous leurs bienfaits.

❖ **Mécanismes de filtration**

Trois mécanismes principaux interviennent successivement : capture, fixation et détachement. Leur importance dépend des caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre.

Mécanismes de capture

Tamisage mécanique

il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine : il est de peu d'importance pour un lit filtrant composé de matériau relativement grossier ;

Rétention dans les espaces inter granulaires

la taille de la particule comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée et pourtant, lors de sa trajectoire tortueuse dans le lit, des zones de moindre courant et des contacts particule/matériau vont permettre sa capture. C'est un mécanisme très important dans la filtration en profondeur.

Mécanismes de fixation

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...) et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals.

Mécanismes de détachement

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement inter granulaire. Les dépôts déjà retenus peuvent alors se détacher partiellement et être entraînés plus avant dans le matériau filtrant.

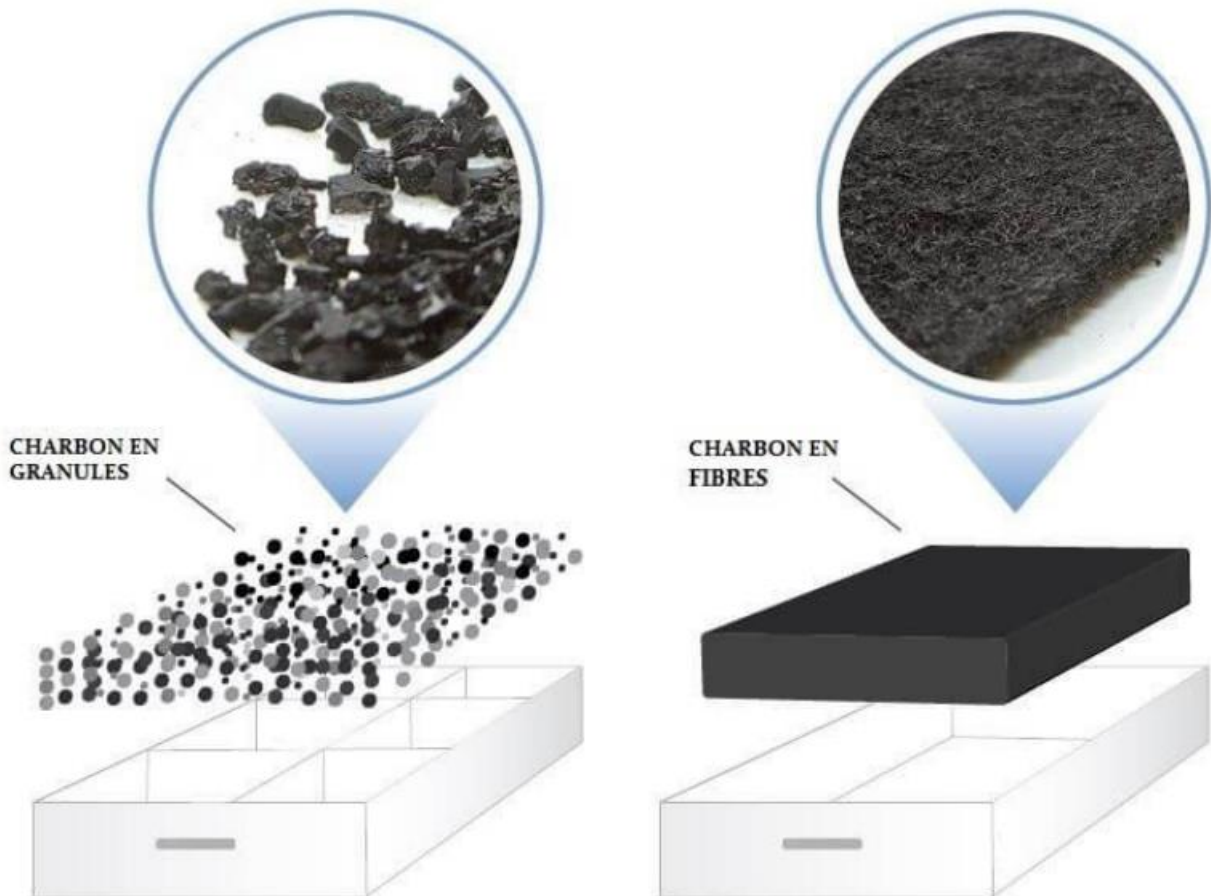


Fig. 12 : Filtration à charbon actif

✚ La désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau. Il peut subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation (stérilisation = destruction de tous les germes présents dans un milieu). La désinfection des eaux comporte deux étapes importantes, correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné :

- **Effet bactéricide** : c'est la capacité de détruire des germes à une étape donnée du traitement.
- **Effet rémanent** : c'est un effet du désinfectant qui se maintient dans l'eau, en particulier dans le réseau de distribution, et qui permet de garantir la qualité bactériologique de l'eau jusqu'au robinet du consommateur : c'est à la fois un effet bactériostatique contre les reviviscences bactériennes et un effet bactéricide contre des pollutions faibles et ponctuelles survenant dans le réseau, en même temps qu'une prévention des développements de micro-invertébrés dont des formes de résistance ou de reproduction auraient pu traverser la station.

Les étapes de production d'eau potable



- 1) CAPTAGE
- 2) DÉGRILLAGE
- 3) TAMISAGE
- 4) COAGULATION-FLOCCULATION
- 5) DÉCANTATION
- 6) FILTRATION
- 7) DÉSINFECTION – OZONATION
- 8) TRAITEMENT SPÉCIFIQUE
- 9) DÉSINFECTION (POSTE CHLORATION)
- 10) STOCKAGE

IV 5. Principales conséquences de la pollution de l'eau

- ✚ Elle provoque des maladies : la consommation d'eau contaminée peut entraîner de graves problèmes de santé. De la diarrhée, du choléra, de l'hépatite A, de la typhoïde, à la mort. On estime qu'environ 5 millions de personnes meurent chaque année en buvant cette eau.
- ✚ Malnutrition : une alimentation insuffisante, ainsi que des maladies infectieuses et un manque d'hygiène avec de l'eau propre, entraînent des maladies, y compris la malnutrition. Une chose va de pair avec l'autre. C'est pourquoi une bonne hygiène corporelle est importante, mais aussi un bon nettoyage des aliments avant leur consommation.
- ✚ Elle affecte les écosystèmes : l'eau douce contaminée altère l'habitat naturel des écosystèmes. En conséquence, la biodiversité aquatique est perdue, des algues nuisibles apparaissent et d'autres problèmes surgissent.

Références bibliographiques

- ✚ Besner et al. (2001) « Understanding distribution system water quality»
Journal AWWA.
- ✚ Cordonnier J. (1995) « Evolution et suivi de la qualité des eaux dans les réseaux d'eau potable Communication personnelle Lyonnaise des eaux »
- ✚ Centre for affordable water and sanitation technology. (2013) « Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau de Boisson »
- ✚ Debabeche S (2019) « Contribution à l'amélioration de la qualité des eaux Albiennes (cas du Forage d'Ain El Beida) » Mémoire master professionnel, Filière : Hydraulique Spécialité : Traitement des eaux. Université de Kasdi Merbah Ouargla.
- ✚ http://environnement.écoles.free.fr/pollution_eau.htm
- ✚ <http://santé.gouv.fr/drass/environnement/GREEQS/outils/classeur/guides/5-lexique-pratique-eau-santé.pdf>
- ✚ Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement. (2005) « Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général »
- ✚ Medjikal.S. (2020) « Les Eaux Brutes Et Leur Potabilité»
- ✚ Schmitt J. P. (1994) « La qualité de l'eau dans le réseau de distribution» le programme de recherches " Biofilm " Courants, 26N°, 29-33.