

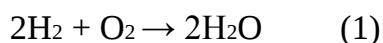
CHAPITRE I

Généralités sur le traitement des eaux brutes

1. Introduction

L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécules H₂O (deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène).

L'équation-bilan de la réaction peut s'écrire :



Elle contient en réalité naturellement une très grande variété de matières dissoutes, inertes ou vivantes : des gaz, des substances minérales ou organiques, des microorganismes (bactéries, virus, plancton), ainsi que des particules en suspension (fines particules d'argiles, limons et déchets végétaux).

En effet, l'eau est un excellent solvant qui se charge en composés solides ou gazeux tout au long de son

cycle, suivant les milieux (rivières, zones humides, roches, atmosphère, etc.) dans lesquels elle circule ou séjourne :

- quand elle tombe en pluie, elle se charge des poussières atmosphériques,
- quand elle ruisselle sur les sols (lessivage),
- quand elle s'infiltre dans le sous-sol, elle se charge des produits d'altération des roches.

La composition chimique de l'eau est ainsi complètement liée aux caractéristiques du bassin versant dans lequel elle opère son cycle (la nature du sol et du sous-sol, les espèces végétales et animales, mais également les activités humaines) [2].

Une eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé de celui qui la consomme.

Les besoins d'eau par l'homme l'ont conduit à prélever des eaux qui n'ont pas les qualités d'une eau potable et qui doivent être traitées. Mais qu'est ce qu'une eau potable ?

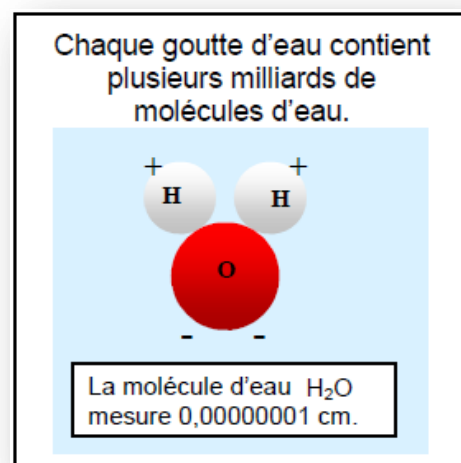


Figure I.1 : La molécule d'eau

2. Qu'est ce qu'une eau potable ?

2.1 Définition d'une eau potable :

Une eau potable est une eau qui peut être consommée sans danger pour la santé. Cette eau potable doit répondre à des critères de qualité qui sont fixés par la loi et définit selon des critères du code de la santé publique.

Les normes définissant une eau de qualité sont variables suivant la législation en vigueur et suivant qu'il s'agit d'une eau industrielle ou destinée à la consommation. Citons brièvement les critères de qualité de l'eau potable [3].

Pour la qualité organoleptique, l'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est principalement par ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Ce sont les paramètres de confort.

Pour la qualité physico-chimique, l'eau ne doit pas contenir d'éléments chimiques indésirables (fer Fe, manganèse Mn) ou toxiques (plomb Pb, mercure Hg...) qui entraîneraient des risques sanitaires à court, moyen, et long terme.

Pour la qualité bactériologique, l'eau ne doit pas contenir de germes pathogènes (bactéries, virus, parasites...) qui provoqueraient des maladies chez les consommateurs. C'est la qualité la plus importante de la potabilité d'une eau.

2.2 Les paramètres d'eau potable :

Différents paramètres sont recherchés en fonction de la nature des eaux (souterraine ou superficielle) et du niveau du contrôle dans la filière d'alimentation (ressource, traitement-production, distribution).

Elles sont réparties par les groupes suivants :

2.2.1 Paramètres organoleptiques : Goût, odeur, saveur et turbidité

Ces paramètres sont jugés aujourd'hui essentiels car c'est au travers que le consommateur se forge une idée sur la qualité de l'eau délivrée. Certaines mesures sont physiques, d'autres font appel à des « goûteurs d'eau » qui comparent les échantillons à une eau de référence et font des dilutions pour s'en rapprocher au plus près. Ces mesures concernent en priorité les eaux d'origine superficielle beaucoup plus vulnérables au regard de ces paramètres [5].

-La couleur

Norme : Esthétique < 15 UCV

La couleur peut être d'origine minérale ou organique. Les éléments minéraux susceptibles de colorer l'eau sont le fer (teinte rougeâtre) et le manganèse (teinte noirâtre). Les substances

organiques qui donnent une coloration à l'eau sont nombreuses. On peut penser aux algues, à la décomposition de végétaux, aux tannins et aux lignines [7].

-La turbidité

Norme : < 5 UTN

La turbidité vient des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière dont le limon, l'argile, les matières organiques et inorganiques en fines particules. Certaines conditions météorologiques peuvent modifier la turbidité d'un approvisionnement en eau. Par exemple, les hautes chaleurs en été, les pluies torrentielles et le renversement des lacs à l'automne et au printemps sont des facteurs qui augmentent la turbidité.

2.2.2 Paramètres physico-chimiques :

PH, température, concentrations en minéraux, conductivité, - "substances indésirables" (nitrates, fluor...)

-le pH

Norme : entre 6,5 et 9

Le pH est une mesure de l'activité des ions d'hydrogène (H^+) contenus dans l'eau. Il correspond au logarithme de la concentration des ions H^+ . L'échelle du pH varie entre 0 et 14, soit une forte acidité (0) et une base forte (14). Une eau légèrement acide sera entre 6,5 et 7. Une eau légèrement alcaline sera entre 7,2 et 8,3. La valeur du pH donne donc une idée de son alcalinité et de sa teneur en CO_2 . Il faut toutefois faire attention, une eau qui a un pH de 7 peut être agressive si la dureté et l'alcalinité sont faibles [4].

-La Conductivité

Norme : Proposition < 1500 ms/cm (par l'OMS)

La conductivité de l'eau est en fonction de son contenu en ions, spécialement de leur capacité à conduire l'électricité. La conductivité de l'eau est directement liée à la concentration des impuretés présentes dans l'eau sous forme ionique. La mesure de la conductivité est influencée par le pH et la température. Il est aussi possible de déduire le résidu sec filtrable par la conductivité. Paramètre en correspondance avec la concentration en sels minéraux dissous. Une eau minéralisée contient beaucoup de sels minéraux dissous.

-Les chlorures

Norme : Proposition < 250 mg/L

Les chlorures sont présents dans presque toutes les eaux. Les concentrations sont très variables, pouvant passer d'une dizaine de mg/L à plus d'un millier de mg/L. La provenance des chlorures peut être due au passage de l'eau à travers des percolations de roches sédimentaires, à l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines et à l'épandage de chlorure

de sodium et de calcium sur les routes. La concentration maximale en chlorure proposée est de 250 mg/L, car à des concentrations supérieures, l'eau peut avoir un goût de sel. Les chlorures sont aussi des agents corrosifs à des concentrations élevées [4].

-La dureté totale

Norme : Esthétique < 120 mg/L

L'eau naturelle étant riche en CO₂ et en oxygène a un grand pouvoir dissolvant au contact des minéraux comme la calcite, le gypse et la dolomite. L'eau peut les dissoudre et acquérir une dureté de plusieurs milliers de mg/L selon l'endroit où elle passe.

Les cations qui sont responsables de la dureté sont les cations multivalents. La dureté totale est composée d'environ 80% de dureté calcique et 20% de dureté magnésienne.

Dans la dureté calcique, on retrouve seulement le calcium (Ca²⁺) et dans la dureté magnésienne, on retrouve tous les autres cations multivalents. Dans certains cas, la dureté peut devenir un problème.

Par exemple, une dureté trop élevée précipite mal le savon, elle peut donc tacher la vaisselle, laisser des dépôts de calcaire dans les réservoirs d'eau chaude et les bouilloires. Par contre, si l'eau ne contient pas assez de dureté, celle-ci devient agressive et elle attaque les tuyaux et les autres accessoires par corrosion [7].

Voici comment est classée la dureté

Degré de dureté	Concentration en °f
Douce	0-5
Modérément douce	5-15
Dure	15-25
Très dure	25-35

Tableau I.1 Comment est classée la dureté

2.2.3 Paramètres concernant les substances indésirables :

- Nitrates

Les nitrates sont présents un peu partout dans la nature. Les nitrates proviennent de l'oxydation de l'azote en milieu naturel. La concentration en nitrate dans l'eau potable ne doit pas dépasser 10 mg/L, principalement à cause des cas de méthémoglobinémie rapportés chez les jeunes bébés. Cette affection peut être mortelle chez les enfants.

-Nitrites - Ammonium

La présence de ces éléments chimiques dans les eaux de distribution publique témoigne soit d'un mauvais fonctionnement de la station de traitement, soit d'une dégradation de l'eau en cours de distribution (stagnation de l'eau trop longue dans les réseaux).

-Oxydabilité au KMnO_4 en milieu acide et/ou carbonique organique total

La mesure de ce paramètre permet d'apprécier la teneur en matière organique contenue dans l'eau distribuée. Elle permet de plus, de vérifier l'efficacité des traitements mis en œuvre pour les eaux d'origine superficielle.

-Aluminium

L'aluminium entre dans la composition de réactifs de coagulation utilisés en eau potable pour le traitement des eaux d'origine superficielle ; sa présence en concentration élevée dans les eaux distribuées résulte d'une mauvaise adéquation des traitements mis en œuvre.

Pour la santé publique, la présence d'aluminium en concentration élevée dans les eaux distribuées, peut engendrer un risque d'encéphalopathie chronique chez les insuffisants rénaux traités par hémodialyse.

-Le fer (Fe) et le manganèse (Mn)

Norme : Esthétique; Fer 0,2 mg/L et Mn 0,05 mg/L

Le fer et le manganèse sont souvent présents dans l'eau et ce, en quantité variable selon les régions et la provenance de l'eau. La norme a été décidée selon une qualité esthétique. En effet, le fer et le manganèse ne sont pas des substances toxiques. Par contre, au-delà de la norme prescrite, ces composantes donnent une couleur et un goût désagréable à l'eau et elles sont responsables des taches laissées sur les vêtements et sur les accessoires de plomberie.

Sa présence en eau de distribution résulte fréquemment d'une corrosion des conduites en métaux ferreux.

-Fluor (limite de qualité)

Le fluor en concentration modérée peut avoir des effets bénéfiques pour la santé en terme de prévention de la carie dentaire.

Les eaux du département contiennent, d'une manière générale, moins de 0,5 mg/l de fluor ; en dessous de cette valeur, l'emploi de sel fluoré est préconisé par le Ministère de la Santé.

-Sodium (limite de qualité)

Les risques sanitaires dus à un excès de sodium intéressent principalement les personnes atteintes de troubles vasculaires et rénaux qui doivent suivre un régime hyposodé.

2.2.4 Paramètres concernant des substances toxiques :

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

- arsenic 50 µg/l (As)
- cadmium 5 µg/l (Cd)
- cyanures 50 µg/l (CN)
- chrome total 50 µg/l (Cr)
- mercure 1 µg/l (Hg)
- nickel 50 µg/l (Ni)
- antimoine 10 µg/l (Sb)

2.2.5 Paramètres bactériologiques :

Lors des contrôles des eaux destinées à l'alimentation humaine sont systématiquement recherchés les germes de contaminations fécales suivants : Eschérichia Coli (E.Coli) et entérocoques.

2.3 Les normes de l'eau potable : [6]

--Le **Tableau I.2** représente la réglementation concernant les paramètres physico-chimiques d'une l'eau potable

Paramètres	Normes Européennes
<i>Aluminium (Al 3+) en mgr/L</i>	<i>max 0.2</i>
<i>Chlorures (Cl -) en mgr/L</i>	<i>max 200</i>
<i>Magnésium (Mg 2+) en mgr/L</i>	<i>max 50</i>
<i>pH</i>	<i>de 6.5 à 9</i>
<i>Potassium (K) en mgr/L</i>	<i>max 12</i>
<i>Sodium (Na+) en mgr/L</i>	<i>max 150</i>
<i>Sulfates (S O-) en mgr</i>	<i>max 250</i>
<i>Température (°C)</i>	<i>Max 25</i>
<i>conductivité (ms/cm)</i>	<i>max1500</i>

Tableau I.2 Réglementation concernant les paramètres physico-chimiques d'une l'eau potable

--Le **Tableau I.3** représente la réglementation concernant les paramètres Substances toxiques d'une l'eau potable

Paramètres	Normes Européennes
<i>Arsenic (As) en µgr/L</i>	<i>max 50</i>
<i>Cadmium (Cd 2+) en µgr/L</i>	<i>Max 5</i>
<i>Chrome soluble (Cr) en µgr/L</i>	<i>Max 50</i>
<i>Cyanures (Cn -) en mgr/L</i>	<i>Max 0.05</i>
<i>Mercure (Hg) en µgr/L</i>	<i>Max 1</i>
<i>Nickel (Ni) en µgr/L</i>	<i>Max 50</i>
<i>Phosphore (P) en mgr/L</i>	<i>Max 5</i>
<i>Plomb 5Pb) en µgr/L</i>	<i>Max 50</i>

Tableau I.3 Réglementation concernant les paramètres Substances toxiques d'une l'eau potable

--**Tableau I.4** représente la réglementation concernant les paramètres Substances indésirables d'une l'eau potable

Paramètres	Normes Européennes
<i>Ammonium (NH₄⁺) en mgr/L</i>	<i>Max 0.5</i>
<i>Argent (Ag ⁺) en µgr/L</i>	<i>Max 10</i>
<i>Cuivre soluble (Cu) en mgr/L</i>	<i>Max 1</i>
<i>Fer soluble (Fe) en mgr/L</i>	<i>Max 0.2</i>
<i>Fluorures (F -) en mgr/L</i>	<i>Max 1.5</i>
<i>Manganèse (Mn) en mgr/L</i>	<i>Max 0.05</i>
<i>Nitrates (NO ₃⁻) en mgr/L</i>	<i>Max 50</i>
<i>Nitrites (NO ₂⁻) en mgr/L</i>	<i>Max 0.1</i>
<i>Oxydabilité (O₂ au KMnO₄) en mgr/L</i>	<i>Max 5</i>
<i>Zinc (Zn 2+) en mgr/L</i>	<i>Max 5</i>

Tableau I.4 Réglementation concernant les paramètres Substances indésirables d'une l'eau potable

2.4 Cycle de l'eau potable:

Qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle, les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est souvent nécessaire de leur appliquer un traitement plus ou moins sophistiqué, ne serait-ce qu'une désinfection dans le cas des eaux souterraines. Si l'on reprend le cycle de l'eau rappelée schématiquement sur la figure I.2 et I.3, on constate que la « vie humaine » se situe dans une zone relativement courte du cycle. Il faut insister sur le fait que le problème de l'eau n'est pas un problème de quantité, mais un problème de flux. La quantité d'eau à la surface de la terre est constante, mais malheureusement 97 % de cette eau est salée.

Pourtant nous sommes habitués à utiliser de l'eau potable pour couvrir presque chaque besoin, bien que ce ne soit pas toujours nécessaire [8] [9].

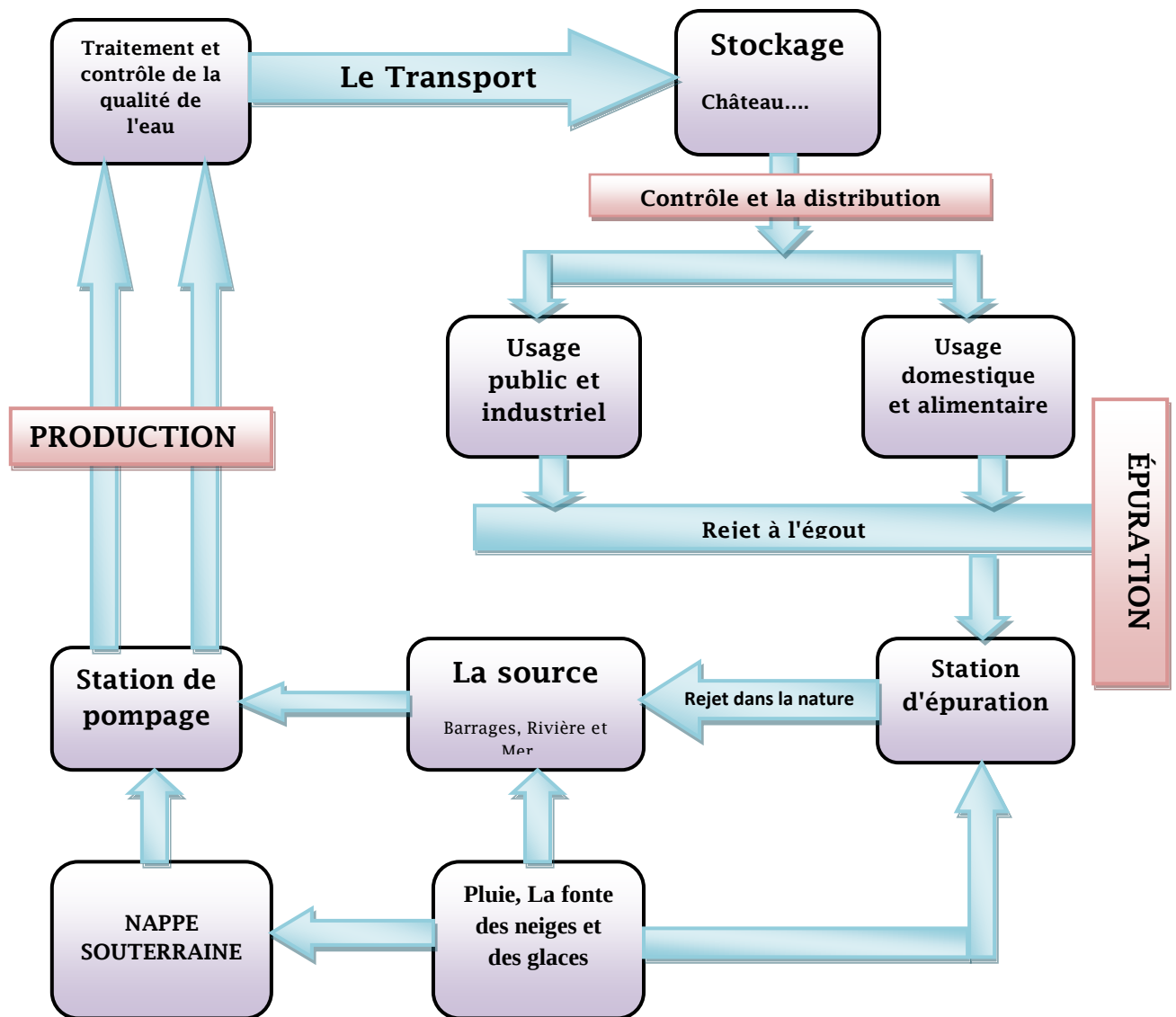


Figure I.2. Cycle de l'eau potable

Shema de cycle

2.4 .1 Production :

• La ressource

Pour alimenter une région, on a recourt soit à de l'eau de surface, soit à de l'eau d'origine souterraine (nappe d'eau souterraine).

La majeure partie de l'eau que nous recevons au robinet provient de l'eau souterraine. Les nappes souterraines sont formées par l'eau de pluie qui s'infiltre dans le sous-sol.

• Station de pompage et zones de protection des captages

L'eau souterraine est collectée de diverses manières : par des galeries drainantes, par le forage de puits (avec pompe) jusqu'au cœur de la nappe phréatique.

!!! Les captages sont menacés en permanence par diverses sources de pollution résultant de l'activité de l'homme en surface:

- les nitrates, les pesticides provenant de l'agriculture, de l'horticulture et des jardins privés
- le rejet d'eaux usées dans les cours d'eau et nappes phréatiques via de puits perdants
- des accidents tels que le déversement d'hydrocarbure, de déchets polluants, fuite aux citernes de mazout ... [8].

• Traitement et Contrôle de la qualité de l'eau :

L'eau transite dans un centre de traitement où elle sera analysée et traitée (notamment par ajout de chlore en très petite quantité) afin de s'assurer de sa potabilité chimique et bactériologique.

• Le transport :

L'eau est amenée au moyen de conduites de gros diamètres, voire d'aqueducs bétonnés vers le château d'eau.

• Stockage : Château d'eau ou réservoir

L'eau est ensuite stockée dans des réservoirs ou des châteaux d'eau.

2.4 .2 Distribution :

(Cette appellation regroupe toutes les activités nécessaires pour acheminer et distribuer l'eau jusque chez vous)

L'eau sera enfin dirigée dans un réseau de canalisations via un labyrinthe de tuyauteries de diamètres de plus en plus petits pour arriver l'eau aux l'usager.

• Usage domestique et alimentaire :

Cuisine (vaisselle, lave-vaisselle, boisson, préparation des aliments,...), lessive du linge, nettoyage, arrosage, toilettes, salle de bain (douche,bain) ...

- **Usage public et industriel :**

Pompiers, car-wash, industries, sidérurgie, ...

- **Rejet à l'égout**

Ces égouts rassemblent les eaux usées et les dirigent vers les collecteurs.

2.4 .3 Epuration :

- **Station d'épuration :**

Ces collecteurs conduisent ensuite les eaux usées vers les stations d'épurations. Ces eaux usées subissent divers traitements et contrôles.

- **Rejet dans la nature et retour au milieu naturel :**

Les eaux traitées et contrôlées sont rejetées dans la nature (cours d'eau).

L'eau rendue à la nature, comblant les besoins de la faune et de la flore, termine donc seule son auto-épuration [8].

3. Processus de production de l'eau potable :

3.1 Chaîne de production d'eau potable :

L'industrie de l'eau a une pression croissante pour produire une eau traitée de plus grande qualité à un coût plus faible. Les eaux à visée de potabilisation pour la consommation humaine sont de différentes natures. Les eaux souterraines constituent sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique. Néanmoins, les terrains traversés en influent fortement la minéralisation. Les eaux de surface se répartissent en eaux courantes ou stockées (stagnantes). Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique de type nitrate et pesticide d'origine agricole.

Dans cette section, nous parlerons plus spécialement de traitement des eaux de surface, mais il est certain que certaines eaux souterraines doivent également être traitées. Suivant les circonstances, ces deux types de traitement sont semblables ou différents, mais de toute façon ils présentent des points communs.

Le principal objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit qui satisfait à un ensemble de normes de qualité à un prix raisonnable pour le consommateur.

L'efficacité du traitement adopté dépendra de la façon dont sera conduite l'exploitation de l'usine de traitement. Pour atteindre l'objectif souhaité, l'exploitant devra d'une part respecter certains principes élémentaires pour assurer le contrôle du processus de traitement et le contrôle de l'eau traitée, et d'autre part disposer d'un certain nombre de moyens techniques et humains.

Nous allons présenter, dans ce chapitre, les caractéristiques générales d'une usine de production d'eau potable, la plus complète et la plus courante, tout en détaillant plus spécifiquement le procédé sur lequel porte notre étude. La figure I.4 représente une filière typique de potabilisation appliquée à une eau de surface. Elle comporte des traitements à large spectre d'action tels que prétraitement, oxydation, clarification, désinfection et affinage. Les étapes de déferrisation, démanganisation, dénitratisation sont les principaux traitements spécifiques de l'eau souterraine [10].

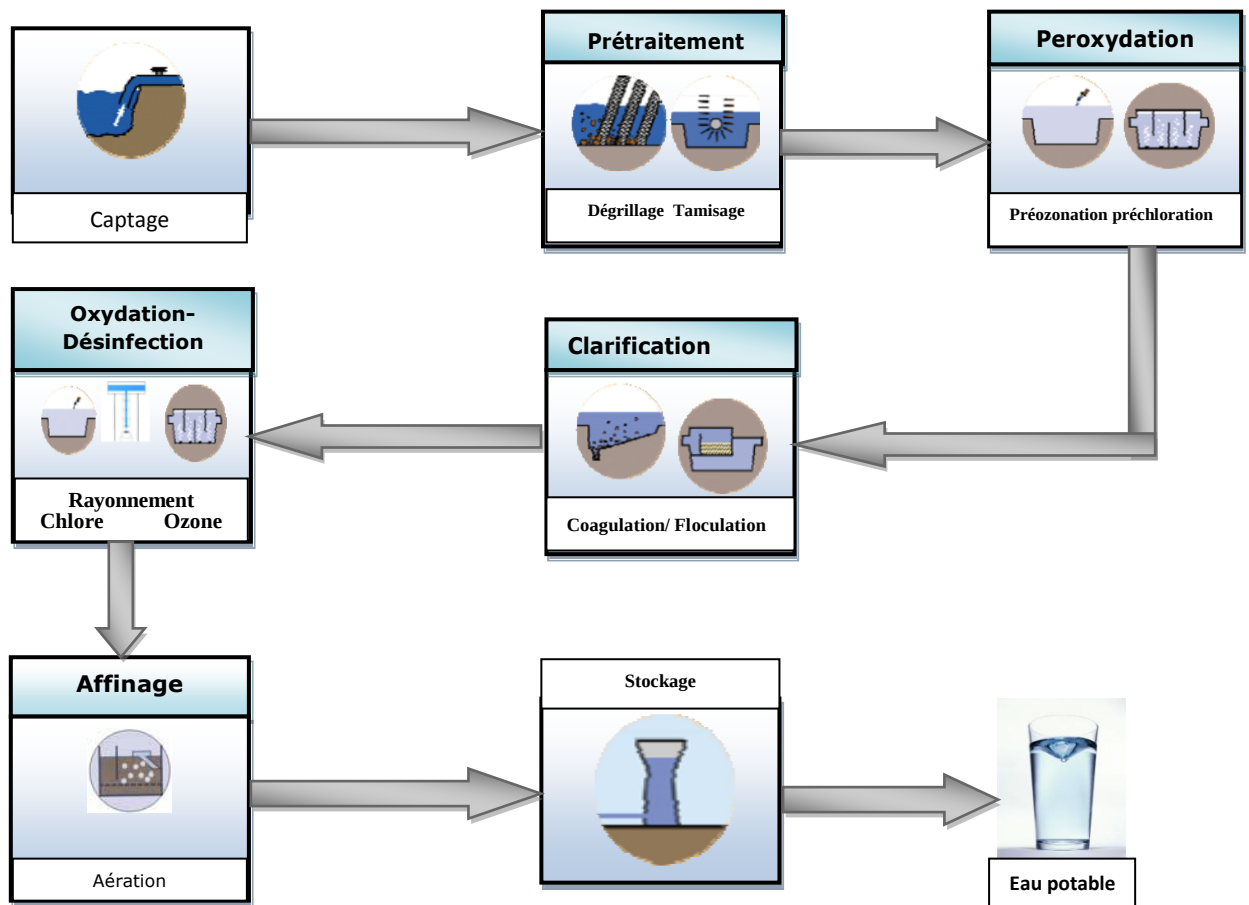


Figure I.4 Station de production d'eau potable

3.1.1 Prétraitement :

Selon la nature de l'eau brute, une étape de prétraitement est utilisée pour éliminer les particules grossières (sable, débris, feuilles, etc.) qui peuvent nuire aux étapes subséquentes du processus de traitement de l'eau potable, de l'eau de piscine et de l'eau industrielle.

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface. Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de deux types :

- le dégrillage.
- le tamisage.

Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement. Ceci permet également de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution. Le dégrillage est avant tout destiné à l'élimination de gros objets : morceaux de bois, etc. Le tamisage, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique par exemple.

3.1.2 Pré-oxydation

L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. Elle est toujours incluse en fin de filière au niveau de la désinfection, Cette étape peut également diminuer l'odeur, le goût et la couleur de l'eau traitée.

A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. Celles-ci n'ont en elles-mêmes rien de dangereux. Il nous arrive souvent de consommer de l'eau en contenant : le thé, le café, le vin ou le lait qui sont chargés en matières organiques, mais qui s'oxydent spontanément en présence d'air. On va les détruire dans la mesure du possible par une oxydation. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes :

- ✓ ajout de Chlore (préchloration)
- ✓ ajoute de dioxyde de chlore
- ✓ ajoute d'ozone (préozonation)

➤La préchloration est effectuée avant le procédé de clarification. 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

➤On préfère utiliser le dioxyde de chlore qui coûte plus cher mais qui n'a pas les inconvénients de l'oxydation par le chlore cités ci-dessus. Ce type de traitement est cependant réservé à des cas spécifiques. En effet, l'utilisation du dioxyde de chlore présente, lui aussi, des inconvénients non négligeables comme sa décomposition à la lumière, ce qui entraîne une augmentation du taux de traitement à appliquer en période d'ensoleillement. En conclusion, le

dioxyde de chlore est un oxydant plus puissant que le chlore qui représente une alternative intéressante à l'utilisation du chlore lorsque celui-ci entraîne des problèmes de qualité d'eau.

➤ Enfin, l'utilisation de l'ozone comme préoxydant, qui non seulement a l'avantage de détruire les matières organiques en cassant les chaînes moléculaires existantes, mais également a une propriété virulicide très intéressante, propriété que n'a pas le chlore. Généralement utilisée en désinfection finale, cette technique peut être mise en œuvre en préoxydation. Elle peut aussi être employée pour l'amélioration de la clarification. L'un des avantages d'une préozonation est l'oxydation des matières organiques, et une élimination de la couleur plus importante. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulation) dans le procédé de clarification. En conclusion, la préozonation est une solution de substitution à la préchloration. On évite ainsi les problèmes liés aux sous-produits de la chloration. Néanmoins, ce procédé ne résout pas tous les problèmes car certaines algues résistent à l'ozone. De plus, son coût reste plus élevé que celui du chlore [10].

3.1.3 Clarification :

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi que des matières organiques dissoutes. Suivant les concentrations de l'un et de l'autre des différents polluants, on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes qui vont de la simple filtration avec ou sans réactif jusqu'à la coagulation – floculation – décantation ou flottation – filtration. La clarification comprend les opérations suivantes :

- Coagulation
- Floculation
- Filtration

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. 90% des usines de production d'eau potable sont concernées. La difficulté principale est de déterminer la quantité optimale de réactif à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute.

Un mauvais contrôle de ce procédé peut entraîner une augmentation importante des coûts de fonctionnement et le non-respect des objectifs de qualité en sortie. Cette opération a également une grande influence sur les opérations de décantation et de filtration ultérieures. En revanche, un contrôle efficace peut réduire les coûts de main d'œuvre et de réactifs et améliorer la conformité de la qualité de l'eau traitée.

En résumé, le contrôle de cette opération est donc essentiel pour trois raisons : la maîtrise de la qualité de l'eau traitée en sortie (diminution de la turbidité), le contrôle du coagulant

résiduel en sortie (réglementation de plus en plus stricte de la présence de coagulant résiduel dans l'eau traitée) et la diminution des contraintes et des coûts de fonctionnement (coûts des réactifs et des interventions humaines).

3.1.3.1 Coagulation-Floculation :

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer ». La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années.

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration.

- **Les particules mis en jeu :**

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivants :

- ✓ état de suspension qui regroupe les plus grosses particules
- ✓ état colloïdal
- ✓ état dissous de sels minéraux et de molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules. Les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm. Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de particules électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion intercolloïdales.

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles.

Le tableau I.5 indique le temps de décantation de différentes particules en fonction de leur dimension [10].

Type de particules	Diamètre en mm	Temps de chute pour 1m		
		Densité de 2.6	Densité de 2.0	Densité de 1.1
Gravier	10.0	0.013 s	0.02 s	0.20 s
Sable grossier	1.0	1.27 s	2.09 s	20.90 s
Sable fin	0.1	2.11 min	3.48 min	34.83 min
Glaise	0.01	3.52 h	5.80 h	2.42 j
Bactéries	0.001	14.65 j	24.19 j	241.9 j
Collédales	0.000 1	4.12 a	6.66 a	66.59 a
Collédales	0.000 01	412.2 a	665.9 a	6659 a
Collédales	0.000 001	41222 a	66590 a	665990 a
s : secondes ; min : minutes ; h : heures ; a : années.				

Tableau I. 5 Temps de décantation des particules

On observe qu'à densité égale, les particules plus petites ont une durée de chute plus longue. Cela conduit à l'impossibilité pratique d'utiliser la décantation seule pour éliminer le maximum de particules. Cette remarque est surtout valable pour les colloïdes, c'est-à-dire les particules dont la taille est comprise entre 10^{-6}m et 10^{-9}m .

La chute d'une particule dans l'eau est régie par la loi de Stokes :

$$V = \frac{g}{18\eta} \cdot (p_s - p_l) \cdot d^2 \quad (2)$$

Avec :

V : vitesse de décantation de la particule,

g : accélération de la pesanteur,

η : viscosité dynamique,

p_s : masse volumique de la particule,

p_l : masse volumique du liquide,

d : diamètre de la particule

Il apparaît clairement que plus le diamètre et la masse volumique de la particule sont grands, plus la vitesse de chute est importante. Le but va être d'augmenter la taille et la masse volumique des particules pour que le temps de décantation devienne acceptable.

- **Facteurs influençant la coagulation:**

De nombreux facteurs influencent le mécanisme et l'efficacité de la coagulation. Certains sont liés à la qualité de l'eau à traiter : le pH, l'alcalinité, la turbidité, la couleur, et les matières organiques, la température. D'autres sont liés au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant [11].

-L'influence du pH :

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation est optimale, elle est fonction du coagulant utilisé, de la concentration et de la composition de l'eau à traiter. Les floccs sont des précipités d'hydroxydes de métaux. Leur formation et leur stabilité dépendent donc du pH.

-L'influence de la minéralisation :

En règle générale, la minéralisation de l'eau exercent des influences sur la coagulation et la floculation :

- Modification de la plage de pH optimale.
- Modification du temps requis pour la floculation.
- Modification de la quantité de coagulant requis.

-L'influence de la température de l'eau :

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de la viscosité, c'est ce qui explique les difficultés de décantation du flocc.

L'abaissement de la température entraîne [12, 13] :

- Une augmentation de la concentration en sulfate d'aluminium (alun) à l'optimum de floculation.
- Une décroissance de la taille des floccs.
- Un déplacement du pH optimum de floculation vers les pH basique

- L'influence du coagulant :

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter. On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale qu'après essai au laboratoire vu la complexité du phénomène [14].

3.1.3.2. La filtration :

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire.

En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation. La rétention de ces particules se déroule à la surface des grains grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériau utilisé. L'espace intergranulaire

définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétrolavage. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité.

Tout filtre est composé de trois parties. On retrouve le fond, le gravier support et le matériau filtrant. Le premier élément doit être solide pour supporter le poids de l'eau, du sable et du gravier. Il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée, le plus souvent par des buselures incorporés, et la répartition uniforme de l'eau de lavage.

Le gravier a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre.

Le lavage des filtres est réalisé en inversant le sens d'écoulement de l'eau. C'est pourquoi cette opération est souvent appelée : rétrolavage. Le sable est mis en expansion et les impuretés, moins denses que les grains de sable, sont décollés par les phénomènes de frottement intergranulaires. La vitesse de l'eau de lavage à contrecourant est limitée du fait des pertes possibles de matériau. On injecte donc de l'air pour augmenter les turbulences afin de décoller efficacement les particules de floes fixées sur les grains.

Durant la filtration, le filtre s'encrasse et, par conséquent, la perte de charge augmente. Il faut veiller à ne pas dépasser la perte de charge maximale admissible déterminée lors de sa conception. Pour conserver un encrassement acceptable du filtre, il faut augmenter la « hauteur de couche » de celui-ci. Le temps pendant lequel on maintient un filtrant clair (eau filtrée) est proportionnel à cette « hauteur de couche » [10].

3.1.4 Oxydation-Désinfection :

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation.

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée.

Cette définition fait apparaître trois notions importantes : les désinfectants, le temps de contact et la concentration résiduelle en désinfectant. Une bonne désinfection via les réactifs oxydants demande la combinaison d'une concentration C avec un temps de contact T ; c'est le facteur $C \cdot T$ (mg.min/L). Cette valeur varie avec les microorganismes concernés, le type de désinfectant et la température.

Les quatre principaux désinfectants utilisés en production d'eau potable sont les suivants :

- Le chlore
- Le dioxyde de chlore
- L'ozone
- Le rayonnement UV

La concentration en oxydant est pratiquement le seul paramètre sur lequel l'opérateur peut intervenir. Il faut retenir que l'efficacité de la désinfection dépend, en partie, du suivi de la concentration en oxydant. L'évolution de la concentration en oxydant est liée à la demande en oxydant de l'eau. Cette demande dépend de la qualité de l'eau, du pH, des températures (différentes entre été et hiver), des matières organiques, et de la concentration en ammoniacale.

3.1.5 Traitement final :

Le traitement final traite de la mise à l'équilibre calco-carbonique. L'eau suit un cycle naturel dans lequel les éléments chimiques qu'elle contient évoluent. L'eau de pluie contient naturellement du dioxyde de carbone (CO_2). Quand celle-ci traverse les couches d'humus, riches en acides, elle peut s'enrichir fortement en CO_2 . Lors de sa pénétration dans un sol calcaire, c'est-à-dire riche en carbonate de calcium (CaCO_3), elle se charge en calcium Ca^{2+} et en ions bicarbonates HCO_3^- . En fait, le calcium est dissous par l'eau chargée en CO_2 . On dit qu'elle est entartrante ou incrustante. En revanche, quand l'eau de pluie traverse une roche pauvre en calcium (région granitique), elle reste très chargée en CO_2 dissous.

Cette eau est, en générale, acide. On dit qu'elle est agressive.

Il y a typiquement deux problèmes distincts : corriger une eau agressive et corriger une eau incrustante. La correction d'une eau agressive peut s'effectuer de plusieurs façons. Premièrement, on peut éliminer le CO_2 par aération. Du fait de l'élimination du CO_2 , le pH augmente et se rapproche du pH d'équilibre. Deuxièmement, on peut ajouter une base à l'eau. L'ajout de base permet d'augmenter le pH et d'atteindre le pH d'équilibre. La correction d'une eau incrustante peut se faire soit par traitement direct soit en réduisant le potentiel d'entartrage par décarbonatation. Le traitement direct correspond à un ajout d'acide [10].

4. Conclusion

Ce premier chapitre a servi d'introduction au domaine lié à notre étude. Nous avons décrit les différentes étapes d'une chaîne de traitement d'eau potable en nous basant sur la chaîne la plus complète possible et la plus courante.

Dans le deuxième chapitre s'attachera à décrire les différents méthodes de mesure les paramètres d'eau usine de traitement d'eau potable, En outre Une description des méthodes de diagnostic.