

Chapitre I : Principaux constituants des eaux naturelles

I.1 Introduction

L'eau absolument pure n'existe pas dans la nature. Les eaux non traitées, dites brutes contiennent de nombreuses substances d'origine naturelle ou provenant de l'activité humaine. Les substances présentes dans les eaux naturelles sont soit **en solution (dissoutes)**, soit en **suspension colloïdale**, soit en **suspension plus ou moins fine**.

Au cours du cycle de l'eau dans la nature, l'eau se charge de différentes substances telles que les gaz et les fumées dissous, des sels minéraux, des substances organiques et des organismes vivants (algues, bactéries,...). Les polluants (atmosphérique, des sols et des cours d'eau) contribuent par ailleurs à augmenter la quantité de substances présentes dans l'eau naturelle.

La composition d'une eau naturelle, va varier selon le lieu où l'on 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,...). 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.

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 forage ou par puits. Elles sont en général pauvres en oxygène et en matières organiques. Dans les terrains géologiques anciens (granit, grès, schistes), la minéralisation est faible ; par contre dans les terrains sédimentaires (calcaire), la minéralisation est importante. Ces eaux souterraines ont une composition stable dans le temps, peu influencée par la pollution de la surface terrestre. Sauf pour certaines nappes phréatiques polluées, elles sont souvent proches des normes de qualité, mais peuvent contenir en fonction de la nature du terrain de stockage des éléments à taux dépassant les normes.

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). Ces sont souvent riches en matières organiques et en matière en suspension. Leur composition est plus variable et elles sont sensibles aux pollutions du milieu extérieur.

I.3. Paramètres organoleptiques des eaux naturelles

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la turbidité (inverse de la transparence) de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais par leur dégradation peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution. Ils permettent au consommateur de porter un jugement succinct sur la qualité de l'eau.

I.4. Différents états des constituants de l'eau

L'eau naturelle contient de nombreux composés minéraux ou organiques sous différents états : dissous en suspensions grossières sédimentables et en suspension colloïdale. Ces dernières substances sont beaucoup plus difficiles à déstabiliser et donc à éliminer.

I.4.1. Etat dissous

Dans une solution vraie, le corps dissous se divise dans tout le solvant et se forme avec lui une phase homogène. La taille des particules (molécules ou ions) est **généralement inférieure à un nanomètre**. Une telle solution est limpide et traverse les filtres sans séparation.

I.4.2. Etats dispersé ou matières en suspension (MES)

L'état dispersé contient un ensemble de particule gênant le passage de la lumière dans la phase liquide. **Une dispersion est retenue par les filtres**. Les M.E.S sont les particules solides de densité supérieure à celle de l'eau. Elles sont très divers tant par leur nature que par les dimensions. Elles proviennent, soit de la dégradation des végétaux et d'animaux soit de l'arrachement des sables ou des argiles causées par les eaux de ruissellement. Généralement, la proportion minérale est dominante dans les eaux de surface, surtout en période de crue. Parmi les M.E.S, on peut citer :

a) Les matières en suspensions décantables

Elles sont soumises aux lois de pesanteur et ont la propriété de sédimentation dans les milieux naturels ou décantation dans les ouvrages des stations de traitement (décanteurs et débourbeurs). Ces M.E.S décantent dès que l'eau n'est plus en mouvement ou faiblement agitée, **la loi de Stokes et alors applicable**. Cela concerne les particules de **dimension $\geq 1\mu\text{m}$** .

b) Les colloïdales

Un système colloïdal contient des particules constituées soit de particules élémentaires, soit de macromolécules. Ces particules portent une charge négative sur leur surface, dans l'eau naturelle, ces charges induisent des forces de répulsion entre les particules et sont un élément de stabilisation de l'état dispersé qui les empêche de s'agglomérer. Les colloïdes ne sont pas sédimentables, ils se déplacent sous l'action d'un champ électrique. Ce sont des M.E.S qui ont des **dimensions $< 1\mu\text{m}$** , la loi de Stokes est inapplicable.

I.5. Caractéristiques physico chimiques de l'eau

I.5.1. Gaz dissous

L'eau contient des gaz dissous essentiellement de l'oxygène (O_2) et du gaz carbonique (CO_2) mais aussi de l'azote (N_2) grâce à l'interface atmosphérique/surface ou encore du méthane. Tous n'ont pas la même solubilité dans l'eau et celle-ci décroît quand la température augmente.

L'augmentation de la température favorise le dégazage (passage de l'eau vers l'atmosphère). La diminution de la température favorise la dissolution de gaz dans l'eau (solubilité).

La solubilité d'un gaz : est la quantité maximale du gaz que l'on peut dissoudre à partir de l'atmosphère vers l'eau. Cette solubilité est donnée par la loi de Henry :

$$[\text{gaz dissous (mg/l)}] = k \times P_{i \text{ gaz}}$$

[gaz dissous (mg/l)] : Concentration en gaz dissous dans l'eau en mg/l.

K : Constante de solubilité à température donnée ($\frac{\text{mg}}{\text{l} \cdot \text{atm}}$).

$P_{i \text{ gaz}}$: pression partielle du gaz dans l'atmosphère (atm).

- Soit un mélange de gaz (air) la pression totale est P_t . **$P_t = \sum P_i$** (somme des pressions partielles de tous les gaz).

a) **Oxygène dissous** : Les eaux souterraines ne contiennent pas en général d'O₂ dissous (absence d'interface avec l'atmosphère). Dans une eau de surface, la présence ou l'absence d'O₂ dissous nous renseigne sur le degré de pollution de l'eau. Les micro-organismes dont le rôle est d'épurer naturellement l'eau de surface consommeront plus d'O₂ pour dégrader la matière organique polluante. Ce qui détermine la nature du système aquatique. L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique de l'eau

b) **Gaz d'azote N₂** : C'est le constituant majoritaire de l'air ($\approx 79\%$). Il est chimiquement très réactif et il est fixé par certains algues et certaines bactéries qui le transforment en azote organique (acides aminés, protéines). La solubilité du gaz d'azote varie de 23,5 mg/l à 0 °C à 134 mg/l à 30°C.

c) **Gaz carbonique (dioxyde de carbone) CO₂** : Il est naturellement présent dans l'atmosphère (proportion moyenne est de 0,03 % de l'air) . Une eau de surface peut en renfermer à 20°C de 0,52 mg/l de CO₂ libre. Le CO₂ est considéré comme un acide faible.

1.5.2 Température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

1.5.3 Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.

Unités: **1 NTU** (Nephelometric Turbidity Unit) = **1 JTU** (Jackson TU) = **1 FTU** (Formazin TU). Les classes de turbidités usuelles sont les suivantes:

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"

1.5.4 pH

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 et 7 étant le pH de neutralité.

Ce paramètre joue un rôle important dans :

- les propriétés physico-chimiques (acidité, alcalinité).
- les processus biologiques.
- l'efficacité de certains procédés de traitements (coagulation, adoucissement et chloration).
- Classification des eaux d'après leur pH

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

I.5.5. Les matières minérales

I.5.5.1. Paramètres minéraux globaux

a) La minéralisation

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

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

La minéralisation totale en sels minéraux (mg/l) d'une eau est donnée par une relation simple en fonction de la conductivité.

$$\text{Minéralisation totale} = \text{Conductivité} \times K, \quad K : \text{facteur de correction}$$

b) La dureté

La dureté d'une eau ou son **titre hydrotimétrique (TH)** exprime sa concentration en sels de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) 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 **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.

La dureté carbonatée ou temporaire concerne les ions calcium et magnésium liés à la quantité de carbonate et de bicarbonates qui peut être éliminée ou précipitée par ébullition. Ce type de dureté est responsable de l'entartrage des canalisations d'eau chaude et des bouilloires. **La dureté non carbonatée** est due à l'association des cations responsables de la dureté avec les sulfates, les chlorures et des nitrates. On l'appelle également dureté permanente car elle ne peut être éliminée par ébullition.

c) Alcalinité et acidité

L'alcalinité correspond en majeure partie par anions ou des espèces moléculaires d'acides faibles, principalement l'hydroxyde, le bicarbonate et le carbonate. Le titre alcalimétrique complet (TAC) est exprimé par les concentrations de ces éléments en quantités équivalentes de carbonate de calcium, de milliéquivalents ou en degré français.

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

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \text{ (titre alcalimétrique) ? Le TA = } 0^\circ\text{F} \text{ Si le pH de l'eau} < 8,3$$

L'acidité Correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acides minéraux et de sels d'acides forts et de bases faibles. L'acidité d'une eau est mesurée par la quantité de base nécessaire pour élever le pH de cette eau jusqu'à une certaine valeur choisie par convention (généralement autour de 8,3). On l'exprime soit en normalité (et plutôt en méq/l), soit en mg/l de CaCO_3 équivalents ou encore en $^\circ\text{F}$.

$$\text{Acidité totale de l'eau} = \text{Acidité faible} + \text{Acidité forte (TAF)}$$

$$\text{Si pH de l'eau} < 4,5 \rightarrow \text{Ac}_{\text{totale}} = \text{Ac}_{\text{faible}} + \text{TAF}$$

$$\text{Si pH de l'eau} \geq 4,5 \rightarrow \text{Ac}_{\text{totale}} = \text{Acidité}_{\text{faible}} = [\text{CO}_2]$$

I.5.5.2. Eléments minéraux majeurs

La minéralisation d'une eau correspond à l'ensemble des sels minéraux dissout dans l'eau et dont la nature dépend des terrains traversés. L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les bicarbonates (HCO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les chlorures (Cl^-). Ils proviennent pour l'essentiel du lessivage des sols par les eaux de pluie. Aussi, leur teneur dépend-elle directement de la nature des roches du bassin versant. Elle peut varier du milligramme par litre au gramme par litre pour les eaux les plus salées. En moins grande concentration (du microgramme au milligramme par litre)

I.5.5 .3. Les paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et couleur (fer, manganèse, ..), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor). En moins grande concentration (du microgramme ou milligramme par litre), l'eau contient aussi des éléments nutritifs, ou nutriments, que sont l'azote (contenu dans l'ammoniac, les nitrites et les nitrates), le phosphore (contenu dans les phosphates) et la silice, mais aussi le fer et le manganèse.

- **Ammonium (NH_4^+)** : Si la concentration est supérieure à 0,5 mg/l il faut suspecter une pollution récente d'origine industrielle ou humaine.
- **Nitrate (NO_3^-)** : Concentration maximale : 50 mg/l. l'ingestion de nitrate à fortes doses est susceptible sous certaines conditions de perturber l'oxygénation du sang chez les nourrissons (« maladie bleue » ou **méthémoglobinémie**). Par ailleurs, ils sont suspectés de participer à l'apparition de cancers digestifs. Dans les eaux douces, ils participent aux phénomènes de prolifération d'algues microscopiques (**eutrophisation**).
- **Nitrites (NO_2^-)** : concentration maximale est de 0,1 mg/l. La présence de nitrites dans les eaux est un signe de pollution, elle justifie une analyse physico chimique et bactériologiques détaillée.
- **Fer** : concentration maximale est de 200 $\mu\text{g/l}$. Les besoins journaliers de l'organisme sont de 1 à 2 mg de fer. Les limites de potabilité sont basées sur des effets esthétiques, le seuil gustatif, les effets ménagers et les inconvénients qu'entraîne le fer, à trop fortes concentrations dans les réseaux de

distribution. A des concentrations de l'ordre de 300 µg/l, le fer tache le linge et les installations sanitaires et donne mauvais goût à l'eau.

- **Fluor** : Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont les roches sédimentaires (fluorapatite des bassins phosphatés par exemple) mais également les roches magmatiques et certains filons. Les concentrations en fluor sont plus faibles si la teneur en Ca^{2+} , issu du gypse par exemple est forte. Le temps de contact entre roche et eau souterraine ainsi que les réactions chimiques déterminent les teneurs en F^- . Le fluor est reconnu comme élément essentiel pour la prévention des caries dentaires mais une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 1,5mg/l peut entraîner des problèmes de fluorose osseuse et dentaire (toxicité chronique).

I.5.5.4. Paramètres minéraux toxiques

Les éléments toxiques proviennent des roches mais aussi parfois des activités industrielles et domestiques. Ces éléments ne sont présents qu'à l'état de trace (de 0,1 à 100 microgrammes par litre), comme l'arsenic, le cuivre, le cadmium, le manganèse, le fer, le zinc, le cobalt, le plomb... La présence de ces éléments est dangereuse pour la santé en cas de consommation régulière.

I.5.6. Matières organiques

Ce sont par définition des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. La matière organique peut être d'origine naturelle, elle provient, soit de l'érosion des sols et soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se trouvent dans l'eau. Comme, elle peuvent être d'origine artificielle. Dans ce cas, elle provienne de l'activité humaine (industries, agriculture, rejets des eaux usées urbaines).

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

- Suivent leur états physique : matière dissoute, colloïdales ou en suspension.
- Suivent leur nature chimique : minérale ou organique

Les substances organiques sont innombrables (plusieurs centaines de mille voire plusieurs millions) et leur identification individuelle très difficile. Leur concentration **infime (minime) dans les eaux profondes**, peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface.

I.5.6.1. Paramètres organiques globaux

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

DBO ou Demande biochimique (Biologique) en Oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours (DBO_5) 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air. Elle est exprimée en mg d'oxygène consommé/l.

Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en mg de O_2 consommé (Tableau 3).

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

DCO ou Demande chimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique, qu'elle soit biodégradable ou non biodégradable d'une eau à l'aide d'un oxydant puissant le bichromate de potassium, en milieu acide fort (H₂ SO₄) et au reflux pendant deux heures.

La relation empirique suivante lie généralement la DBO₅ la DCO et la matière organique de l'échantillon (MO) : **MO = (2DBO₅ + DCO)/3**

La différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport entre la DCO et la DBO₅ constitue une mesure indicative de la dégradabilité biochimique des composés présents dans l'eau.

Si $\frac{DCO}{DBO_5} > 3 \longrightarrow$ La majorité de la MO existante est non biodégradable.

Si $\frac{DCO}{DBO_5} < 3 \longrightarrow$ La majorité de la MO existante est biodégradable.

Oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄) : C'est une mesure similaire à la DCO, utilisée dans le cas de faibles concentrations en matières organiques (DCO < 40 mg/l d'O₂). L'oxydant requis est le permanganate de potassium. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid, la méthode à chaud est la plus utilisée à cause de sa rapidité.

COT, carbone organique total représente la teneur en carbone total (organique et minérale) lié à la matière organique. La méthode repose sur une mesure de CO₂ après oxydation complète. Cette méthode permet de analyser l'eau quel que soit sa qualité (de forte salinité, acide, basique, ou contient des composés toxiques). Mais, elle nécessite dans la majorité des cas l'élimination des matières en suspension est nécessaire avant le dosage.

Absorbance UV : La mesure de l'absorbance en UV à 254 nm est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons (carboxyliques, benzéniques...). Cette mesure de l'absorbance peut nous renseigner sur le contenu organique d'une eau, notamment la fraction aromatique.

I.6. Qualité microbiologique de l'eau

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.

Les différents familles de micro-organismes rencontrés dans une eau sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Les différentes familles de micro-organismes rencontrés dans une eau

BACTERIES		VIRUS	PROTOZOAIREs
Staphylocoques	Escherichia Coli	Entérovirus	Giardia
Streptocoques	Legionella Pneumophila	Hépatites	Cryptosporidium
Salmonella	Cyanobactéries	Bactériophages	Amibes

1.7. Notions de potabilité

- Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risques pour la santé.
- Des normes sont établies pour fixer les valeurs (ou intervalles) et les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de paramètres et de substances présentes dans l'eau.
- Les normes peuvent être nationales ou internationales (normes OMS, normes CEE,...)
- Pour déterminer à partir de quelle concentration, certaines substances chimiques sont toxiques à court terme, ou quels sont leurs effets cumulés à long terme, deux approches scientifiques sont disponibles : l'expérimentation ou l'épidémiologie. L'expérimentation consiste à tester ces substances sur des cellules animales ou humaines. L'épidémiologie quant à elle consiste à suivre l'état de santé de populations exposées à certaines d'entre elles et à des populations vivant dans des conditions semblables mais non exposées à ces mêmes substances. De telles études sont indispensables pour établir des normes.
- Les normes peuvent donc être modifiées à tout moment en fonction des progrès réalisés