

1. Introduction :

Le but de ce chapitre est de décrire les propriétés physico-chimiques de l'eau et les principes qui contrôlent le comportement des constituants dissous dans les eaux souterraines.

2. Les Propriétés et la structure de l'eau :

L'eau est un composé chimique qui constitue de l'hydrogène et de l'oxygène avec la formule de H_2O . La raison principale pour les propriétés inhabituelles de l'eau peut être discernée de la structure des molécules de H_2O . Les deux liaisons entre l'oxygène et les atomes d'hydrogène à partir d'un angle de 106° . Par conséquent, les deux hydrogènes sont sur la même cote de la molécule et le cote une charge positive nette par rapport à l'autre cote, ce qui donne une caractéristique polaire de la molécule.

- **La Structure de la molécule de l'eau :**

La liaison $O - H$ dans la molécule d'eau H_2O L'atome d'oxygène ($Z = 8$) possède six électrons de valence dont deux célibataires. Pour former la molécule d'eau, l'atome d'oxygène se lie à deux atomes d'hydrogène établissant ainsi deux liaisons covalentes :

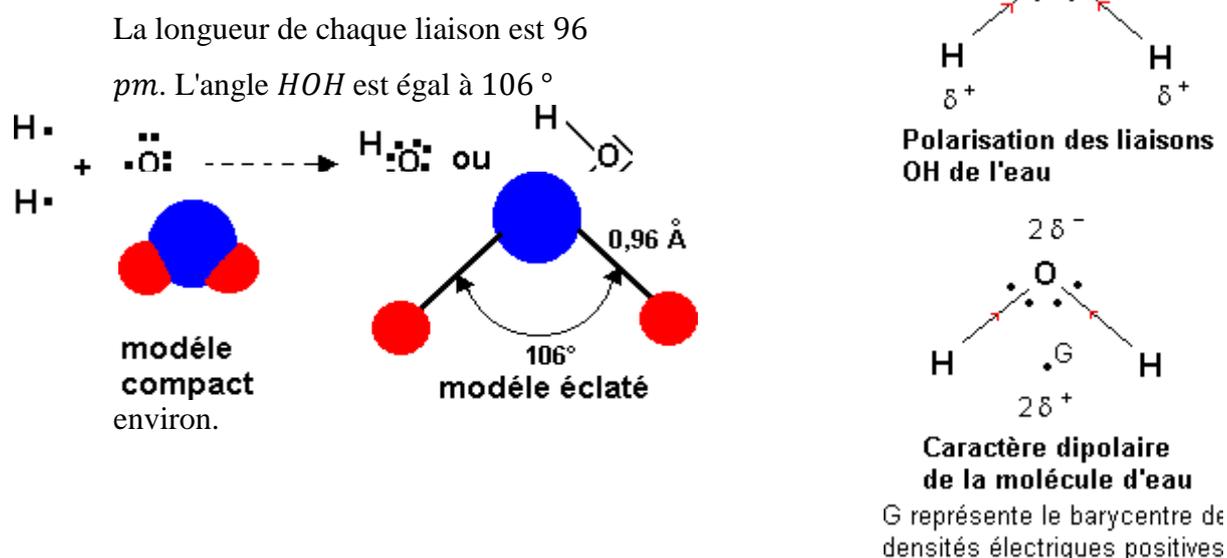


Figure 1: Structure de la molécule de l'eau

3. L'origine des eaux potables :

Il y a 3 types d'eaux : les eaux minérales, les eaux de source, et les eaux du robinet.

3.1 L'eau minérale :

Une eau minérale naturelle ne peut être que d'origine souterraine, et s'être constituée à l'abri de tout risque de pollution. Microbiologiquement saine dès l'origine, elle n'est perturbée par aucune contamination d'origine humaine. La principale caractéristique de l'eau minérale naturelle réside dans sa pureté originelle qui est une exigence de la réglementation.

Les eaux minérales naturelles ont une composition physico-chimique stable qui peut leur permettre de se voir reconnaître des propriétés favorables à la santé humaine.

En résumé, l'eau minérale naturelle est définie réglementairement par trois critères majeurs : absence de tout traitement ou d'addition de produits chimiques, sa pureté une composition minérale définie, parfaitement stable et garantie.

Ses qualités thérapeutiques ont été reconnues par l'Académie Nationale de Médecine et l'administration au public en a été autorisée par le Ministère chargé de la santé.

3.2 Les eaux de source :

Les eaux de source sont comme les eaux minérales naturelles, exclusivement d'origine souterraine, microbiologiquement saines, préservées de la pollution d'origine humaine, et aptes à la consommation humaine sans traitement ni adjonction.

Contrairement aux eaux minérales naturelles, leur composition n'est pas systématiquement stable. Les eaux de sources répondent aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet.

Par ailleurs, leur nom commercial n'est souvent pas spécifique à une source. Tout en restant conforme aux règles de l'étiquetage, une même marque peut parfois recouvrir plusieurs sources et donc avoir des compositions minérales différentes.

3.3 Les du robinet :

L'eau du robinet est une eau potable distribuée par un réseau de canalisations depuis les zones de captage, où sont prélevées les eaux brutes, jusqu'aux utilisateurs finaux, en passant par un centre de traitement et un ou plusieurs réservoirs.

Les eaux brutes proviennent le plus souvent de nappes phréatiques (sous-terraines) ou d'eaux de surfaces (rivières, lacs, fleuves).

4. La Composition chimique des eaux souterraines :

Il est évident que la chimie des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ...).

La composition chimique de l'eau naturelle est dérivée de nombreuses sources de solutés de l'atmosphère, l'altération des roches et des sols, des réactions chimiques qui se produisent sous la surface des terres et les effets résultant de l'activité humaine.

5. Les caractéristiques de l'eau potable :

5.1 Les Caractéristiques Organoleptiques :

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.).

5.1.1 La Couleur :

L'eau colorée présente des inconvénients : indépendamment des problèmes esthétiques, les substances naturelles qui donnent la coloration à l'eau peuvent, en formant des complexes avec des ions métalliques.

Bien qu'elle puisse par ailleurs satisfaire aux normes bactériologiques et chimiques, une eau présentant une certaine coloration, sans être dangereuse, est peu engageante et sera suspecte au consommateur. D'un point de vue pratique, une coloration de 5 unités (échelle colorimétrique au platino-cobalt) étant déjà décelée par beaucoup d'utilisateurs, cette valeur ne devrait pas être dépassée pour des raisons esthétiques.

Dans un certain nombre de pays, la valeur de 10 unités est considérée comme un chiffre qu'il est souhaitable de ne pas dépasser et la valeur de 20 unités est admise comme limite supérieure acceptable. L'OMS et la réglementation française (en tant que référence de qualité) indiquent 15 unités (15 mg/L Pt).

5.1.2 L'odeur :

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel ; cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs.

L'eau potable doit être sans odeur, non seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à la température de 26 °C. Les odeurs proviennent, soit des produits chimiques, soit de matières organiques en décomposition, soit de protozoaires, soit d'organismes aquatiques.

5.1.3 La Saveur :

Dans le cas de l'eau de distribution, il faut bien reconnaître que les traitements par le chlore sont à l'origine de la plupart des problèmes organoleptiques. Cependant, la diminution du taux de chlore ne doit pas conduire à poser des problèmes bactériologiques.

La minéralisation de l'eau suivant qu'elle est faible ou importante introduit un goût plus ou moins accentué et on peut distinguer par conséquent certains crus d'eau. Une eau potable de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable. Pour que l'eau soit considérée comme n'ayant pas de goût particulier, certains sels tels que le chlorure de calcium, l'hydrogencarbonate de sodium, doivent être présents à une concentration voisine de celle de la salive.

5.2 Les caractéristiques Physico-chimiques de l'eau :

L'analyse d'une eau naturelle doit donner la concentration des éléments caractéristiques et la valeur des grandeurs physiques et chimiques (pH, T°, Turbidité, Conductivité, la dureté.).

5.2.1 Les caractéristiques physiques :

1) La Température :

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15 C° ; entre 20 et 25 C°, elle désaltère mal. A titre indicatif, les anciennes du Conseil des communautés européennes fixaient à 12 C°. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la Santé de l'homme.

2) Le pH :

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 une eau dite acide et à un pH supérieur à 7, elle est dite basique.

Il est rare que le pH soit une contre-indication à la potabilité. C'est cependant l'un des paramètres parmi les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement.

3) La Conductivité :

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau l'évaluation. Le tableau ci-dessous donne quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.

<i>Conductivité < 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation très faible ;</i>
<i>100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation faible ;</i>
<i>200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne ;</i>
<i>333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne accentuée ;</i>
<i>666 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation importante ;</i>
<i>Conductivité < 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation élevée.</i>

Les directives du Conseil des communautés européennes relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guide de 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 C°. La réglementation française est plus contraignante puisque la référence de qualité est comprise entre 180 et 1 000 $\mu\text{S} / \text{cm}$ à 20 C°.

Une conductivité de l'eau supérieure à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées.

4) Les Matières en suspension (MES) :

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc..) ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.

Des teneurs plus élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, compromettre le développement ichtyologique en créant des déséquilibres entre les diverses espèces.

Les anciennes directives du Conseil des communautés européennes préconisaient que les matières en suspension soient absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine. Ces directives, comme la réglementation française, prévoient aujourd'hui des contrôles et des limites sur le paramètre turbidité.

5) La Turbidité :

La turbidité est liée à la présence de particules organiques diverses, d'argile, de colloïdes de plancton, etc. elle peut être favorisée par la pluviométrie.

Dans les eaux profondes, la turbidité empêche la propagation de la lumière dont la

diminution d'intensité a pour conséquence de limiter et même d'éliminer la végétation. La plupart des eaux superficielles ont une turbidité importante et leur consommation directe est impossible. Il faut les clarifier, soit par décantation, soit par addition d'un coagulant, soit par filtration, soit encore par une combinaison de ces différents procédés. Il semblerait qu'une turbidité supérieure à 5 *NTU* limiterait la destruction des coliformes même si du chlore résiduel libre est conservé pendant une heure.

Les normes concernant la turbidité de l'eau potable sont assez différentes et variables. L'*OMS* recommande comme valeur limite 5 unités *NTU* (Néphélométrie Turbidité Unit) et précise que dans le cas où l'on pratique la désinfection, il conviendrait que la turbidité soit inférieure à 1 *NTU*.

6) L'Oxygène dissous :

La teneur de l'Oxygène dans l'eau est fonction de l'Origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation ; par contre, les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre.

L'*OMS* recommande que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation. Aucune valeur guide fondée sur des critères de santé n'est proposée.

5.2.2 Les caractéristiques chimiques :

1) La Dureté totale ou Titre hydrométrique (*TH*) :

La dureté de l'eau est due à la présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} (dans certains cas aussi Fe^{2+}), qui existent dans la solution sous forme avec sels solubles. Selon la nature des sels que les ions alcalino-terreux peuvent former avec des ions négatifs présents dans l'eau, on distingue la dureté temporaire et la dureté permanente.

Plage de valeurs du titre hydrométrique.

Tableau I1 : Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+40
Eau	Très douce	Eaux douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS ne recommande pas de valeur mais indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation de dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française n'indiquent pas de valeurs pour les eaux livrées à la consommation humaine.

2) L'Alcalinité (TA – TAC) :

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

Les valeurs relatives du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) permettent de connaître les quantités d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalinoterreux présents dans l'eau.

- Le **TA** permet de mesurer la teneur totale en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates, lorsque ces teneurs sont mesurées en *még/l* ou °F, ce qui est traduit par la formulation :

$$T = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] \quad \text{még/l ou } ^\circ\text{F}$$

- Le **TAC** permet de mesurer les teneurs totales en hydroxydes, en carbonates et en Hydrogencarbonates, en *még/l* ou °F, soit :

$$TA = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{még/l ou } ^\circ\text{F}$$

3) Le Chlorure :

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 *mg/l*, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1 000 *mg/L*.

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 *mg/L*, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.

L'OMS recommande pour la teneur en chlorure dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 *mg/L* pour des considérations gustatives et des risques de corrosion. La réglementation française a intégré ce paramètre dans les références de qualité avec comme valeur 250 *mg/L*.

4) Les Sulfate :

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L , mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé.

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/l . Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française retiennent cette dernière valeur de 250 mg/L (SO_4). L'organisme est susceptible cependant de supporter des doses plus élevées, inconvénient majeur autre qu'une action laxative temporaire.

5) Les Nitrates :

La pollution des eaux par les nitrates présente un **double risque**. Ingréés en trop grande quantité, les nitrates ont des **effets toxiques sur la santé humaine**. Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à **modifier l'équilibre biologique des milieux aquatiques** en provoquant des phénomènes d'eutrophisation.

Au-delà d'un certain seuil de concentration les nitrates présentent donc un risque pour la santé. Ils ne sont pas toxiques en soit, mais leur conversion en nitrites, par certaines bactéries présentes dans l'organisme, est très nocive. En effet ceux-ci réagissent avec l'hémoglobine pour former de la méthémoglobine, qui affecte la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme, surtout chez les nourrissons qui représente une population à risque. Mais même à faible concentration, ils peuvent également engendrer à long terme des cancers chez les adultes lorsqu'ils sont associés à certains pesticides avec lesquels ils forment des composés cancérigènes.

Il existe quatre classes distinctes en fonction de la concentration en nitrates retrouvée dans l'eau :

- Eau de qualité optimale pour être consommée (< 25 mg/L).
- Eau de qualité acceptable (de 25 à 50 mg/L).
- Eau non potable nécessitant un traitement (de 50 à 100 mg/L).
- Eau inapte à la production d'eau potable (> 100 mg/L).

6) Les Nitrites :

En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux et dans les zones où l'autoépuration est active ; les teneurs se maintiennent à des niveaux très faibles (de l'ordre de 0,01 mg/L). En dessous d'un centième de mg/L, les eaux peuvent être considérées comme pures ou se trouvant sous l'action d'une autoépuration active, en présence de quelques dixièmes de mg/L la pollution est sensible, celle-ci devient significative au-delà de 1 mg/L.

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique.

7) La DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène) :

Les phénomènes d'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résultent de la dégradation des charges organiques polluantes, sous l'action de micro-organismes. Il en résulte une consommation d'oxygène qui s'exprime par la demande biochimique en oxygène ou DBO₅. Le paramètre DBO₅ est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques biodégradables.

Tableau 2 : qualité de la DBO₅ (Demande biochimique en oxygène)

DBO ₅	Qualité
DBO₅ < 3	Très bonne
3 < DBO₅ < 5	Bonne
5 < DBO₅ < 8	Moyenne
DBO₅ > 8	Mauvaise, voire très mauvaise