

CHAPITRE 6

Principaux substances solubles et en suspension dans les eaux de surface

Pr Mohammed cherif ouiza

Principaux substances solubles et en suspension dans les eaux de surface

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Propriétés physiques de l'eau

Masse volumique

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

Température

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

Conductivité de l'eau

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

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

Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau, il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau (aptitude à dissoudre le calcaire). Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles.

La turbidité

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

La viscosité

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

La tension superficielle

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

Propriétés chimiques de l'eau

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

Solvant

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

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

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

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

Matières en suspension (MES)

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

Titre alcalimétrique

Le titre alcalimétrique simple (TA)

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

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

Le titre alcalimétrique complet (TAC)

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

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

Titre hydrotimétrique TH (la dureté de l'eau)

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

Le titre hydrotimétrique calcique

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

Le titre hydrotimétrique magnésien

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

La dureté carbonatée

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

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

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

–Liqueur complexométrique (solution d'EDTA).

On qualifie la dureté d'une eau :

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

Titre en acides forts (TAF)

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

Titre en sels d'acides forts (SAF)

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

Carbone organique total (COT)

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

Les eaux naturelles

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

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

Aperçu général du contenu des eaux naturelles

Les matières minérales

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

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

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

Les matières organiques

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

Propriétés organoleptiques

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

La turbidité

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

La couleur

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

Goût et odeur

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

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

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

Cations majeurs et mineurs des eaux naturelles

Le calcium Ca^{2+}

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

Le fer Fe^{2+}

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

Le potassium K^+

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

Le magnésium Mg^{2+}

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

Le sodium Na^+

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

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

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

Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles

Les bicarbonates HCO_3^-

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

Les chlorures Cl^-

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

Les fluorures F^-

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

Les sulfates SO_4^{2-}

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

Les nitrates NO_3^-

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

Les eaux de consommation

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

L'eau du robinet

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

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

L'eau minérale

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

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

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

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

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

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

L'eau de source

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

Tableau 2 : Différents caractéristiques des eaux de consommation

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

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

Exercices

Exercice 1 :

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

- Eau n° 1 : 9,9 mg.L⁻¹
- Eau n° 2 : 67 mg.L⁻¹
- Eau n° 3 : 253 mg.L⁻¹

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

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

Exercice 2 :

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

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

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