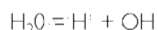


# Les caractéristiques physicochimiques de l'eau

## ■ L'ÉQUILIBRE CHIMIQUE DE L'EAU ; LE PH

L'eau est un corps pur, incolore et inodore. La molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène selon la formule chimique  $H_2O$ . Cette molécule est partiellement dissociée en ions  $H^+$  et  $OH^-$  qui sont issus d'atomes d'hydrogène et d'oxygène auxquels ont été enlevés ou rajoutés un ou plusieurs électrons.

L'équilibre de dissociation de l'eau est représenté par la formule suivante :



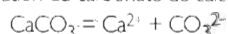
Cet équilibre étant très fortement déplacé vers la gauche, la quantité d' $H^+$  et d' $OH^-$  est très faible dans une eau à l'équilibre. L'acidité ou la basicité d'une eau sont définies à partir des concentrations respectives d' $H^+$  et d' $OH^-$  couramment mesurées par la concentration en ions  $H^+$ . Plus la concentration en ions  $H^+$  est grande et plus l'acidité est forte. Cette acidité se mesure grâce à l'opposé du logarithme décimal de la concentration en ions  $H^+$  aussi appelé pH.

$$pH = \log 1 / [H^+] = \text{colog } [H^+]$$

Une eau neutre, ni acide ni basique, a un pH de 7 correspondant à une concentration  $[H^+] = [OH^-]$  de  $10^{-7}$  ions g/l alors qu'un pH de 5 signifie qu'on est en présence d'une eau légèrement acide ( $[H^+] = 10^{-5}$  ions g/l) et qu'à l'opposé un pH de 9 caractérise une eau basique ( $[H^+] = 10^{-9}$  ions g/l).

## ■ LA SOLUBILITÉ DANS L'EAU

Les espèces chimiques solubles dans l'eau le sont grâce à une fragmentation de leurs molécules en ions qui sont librement mobiles dans l'eau. Cette fragmentation est encore appelée dissociation totale sous forme ionique. Par exemple, le chlorure de sodium  $NaCl$  solide sera entièrement dissocié dans l'eau sous forme d'ions  $Na^+$  et  $Cl^-$ . Mais la plupart des espèces chimiques sont seulement partiellement solubles dans l'eau et leur dissociation partielle résulte d'une réaction d'équilibre chimique. Par exemple, on pourra écrire dans le cas de la dissociation du carbonate de calcium :



Comme il s'agit d'équilibres chimiques, la réaction qui se traduit par une dissociation ionique ou une précipitation du carbonate solide peut être plus ou moins déplacée vers la droite ou vers la gauche. L'aptitude à la dissociation de l'espèce chimique, ici le carbonate de

calcium, se mesure à l'aide d'une constante chimique. Cette constante, appelée constante d'équilibre, ne dépend que de la température et fixe la valeur du produit des concentrations des espèces solubles  $Ca^{2+}$  et  $CO_3^{2-}$  pour une température donnée.

Dans le cas du carbonate de calcium, la constante diminue quand la température croît, ce qui explique la tendance à la précipitation du carbonate de calcium dans les eaux chaudes.

Dans tous les cas, la neutralité électrique sera respectée, c'est-à-dire que les concentrations de tous les ions présents dans l'eau seront telles que la somme de toutes les concentrations d'ions chargés positivement sera égale à la somme de toutes les concentrations d'ions chargés négativement, concentrations affectées d'un coefficient égal à la charge de l'ion :

$$2. [Ca^{2+}] + [Na^+] + [K^+] + \dots = 2. [CO_3^{2-}] + [Cl^-] + [OH^-] + \dots$$

## ■ LA CONDUCTIVITÉ DE L'EAU

Les ions présents dans l'eau assurent suivant leur concentration une certaine aptitude au passage d'un courant électrique. On dit que l'eau est plus ou moins conductrice et la conductivité se chiffre en  $\mu S/cm$  (micro-siemens par centimètre). L'inverse de la conductivité est la résistivité de l'eau et se chiffre en ohm. cm.

Il existe une corrélation entre la résistivité d'une eau et sa minéralisation totale, c'est-à-dire la concentration en espèces dissoutes. Il s'agit d'une loi empirique, la loi de Doroschewski :

$$\text{Résistivité à } 20^\circ C \text{ en ohm, cm} = 688\,000 \times \text{minéralisation en mg/l.}$$

## ■ LES UNITÉS DE CONCENTRATION

Par définition, une concentration, parfois appelée également « titre » d'une solution, est une grandeur physique qui exprime une certaine quantité de matière par unité de volume. Les unités naturelles de concentration les plus courantes sont le g/l ou le mg/l mais les chimistes préfèrent souvent utiliser une autre unité faisant intervenir la charge et la masse atomique de l'ion considéré appelée l'équivalent par litre (é/l) ou, plus souvent, le milliéquivalent par litre (mé/l). Un équivalent représente simplement la masse atomique de l'ion divisée par le nombre de charges de l'ion qu'on appelle la valence.

$$1 \text{ équivalent} = \text{masse atomique (g) / valence}$$

Ainsi, pour le calcium, élément bivalent dont la masse atomique est de 40 g, une concentration d'un équivalent par litre correspond à 40/2, soit 20 g/l et un milliéquivalent par litre à 20 mg/l.

De même, et à l'inverse, la masse atomique du chlore monovalent étant de 35,5 g, une eau contenant 2 g/l de chlore par litre contiendra  $2 \times 1/35,5$ , soit 0,056 équivalent/l, soit 56 mé/l (milliéquivalent par litre). Cette notation a l'avantage de permettre de déterminer immédiatement les concentrations salines. Si, par exemple, dans le cas du chlorure de calcium, il s'agit d'une solution à 56 mé/l, cela correspond à une concentration en g/l de :

$$0,056 \times (40/2 + 35,5/1) = 3,1 \text{ g/l de CaCl}_2$$

Avec une dose de calcium de  $0,056 \times 40/2$ , soit 1,1 g/l.

Dans la pratique, pour chiffrer les concentrations, on utilise souvent le «degré» qui possède diverses valeurs en France, en Angleterre et en Allemagne. En France, 1 degré correspond à 1/5 mé/l. Pour le calcium, 1 mé/l étant égal à 20 mg/l, 1 °F de calcium correspondra à 4 mg/l.

1° français = 0,56° allemand = 0,7° anglais

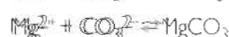
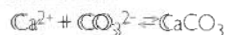
Enfin, les analyses d'espèces chimiques dans l'eau sont souvent exprimées, par abus de langage, en ppm -partie par million- ou ppb -partie par billion (milliard en anglais)-. En fait, il s'agit d'exprimer des concentrations de 1 mg/l et 1 µg/l rapportées à des solutions aqueuses de masse volumique de 1 kg/l.

## ■ LES CONCENTRATIONS EN SELS DE CALCIUM ET MAGNÉSIUM : LES TITRES HYDROTIMÉTRIQUES

On a coutume de classer les espèces chimiques par groupe de propriétés voisines. Par exemple, le calcium et le magnésium sont tous les deux des éléments alcalinoterrux qui possèdent des atomes à même configuration électronique et dont la présence dans l'eau confère à celle-ci des caractéristiques voisines. Ainsi, on a pu définir les entités suivantes :

- Le titre hydrotimétrique total TH qui correspond à la teneur globale en sels de calcium et de magnésium ; la somme des concentrations de cations calcium et magnésium est, par ailleurs, appelée dureté de l'eau. L'unité courante de TH est le degré français.
- Le titre hydrotimétrique calcique, TH calcique, qui correspond à la teneur en sels de calcium uniquement. Ce titre, exprimé en degrés français, est d'autant plus élevé que la concentration en calcium est grande.

Plus les duretés sont élevées et plus la formation du tartre est probable car celui-ci consiste simplement en la précipitation des carbonates de calcium et magnésium à partir des cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  présents dans l'eau :



Ces équilibres sont fortement déplacés vers la droite lorsqu'on élève la température de l'eau et c'est pourquoi les circuits d'eaux chaudes sanitaires et de chauffage, favorables à la précipitation des carbonates, sont prédisposés à l'entartrage.

Les valeurs moyennes de TH sont normalement comprises entre 15 et 45 °F mais on peut trouver des eaux à plus de 100 °F et il existe des eaux minérales de consommation courante à 180 °F. Le TH de l'eau est sensiblement modifié par les installations d'adoucissement

d'eau et la législation impose des réglages pour obtenir un TH minimal de 15 °F, ce qui représente une valeur de dureté relativement faible.

## ■ LES CONCENTRATIONS EN ESPÈCES ALCALINES : LES TITRES ALCALIMÉTRIQUES

L'alcalinité d'une solution est caractérisée par la présence d'espèces basiques (par opposition aux espèces acides).

Le TA et le TAC, respectivement titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet, permettent de déterminer précisément les concentrations en espèces alcalines, hydrogénocarbonates  $\text{HCO}_3^-$ , carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  et hydroxydes  $\text{OH}^-$ .

$$\text{TA} = 1/2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

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

Des valeurs respectives du TA et du TAC, on peut déduire par calcul la répartition des trois grandes catégories de corps qui constituent l'alcalinité de l'eau : hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates.

Les valeurs usuelles du TAC vont de 2,5 °F jusqu'à 35 °F pour des eaux dures.

## ■ LA SOLUBILITÉ DES GAZ

Tous les gaz comme l'oxygène, le gaz carbonique ou l'azote sont solubles dans l'eau. Leur solubilité, qui se chiffre en concentration de gaz, soit en mg/l, diminue lorsque la température s'élève. Le fait marquant est que la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue quand la température augmente, ce qui est d'une grande importance pour les eaux de chauffage qui sont ainsi dénuées naturellement d'oxygène dissous.

## ■ LES ÉLÉMENTS EN SUSPENSION

En plus des espèces chimiques en solution, une eau peut contenir un certain nombre d'espèces non dissoutes, comme la silice par exemple, qui restent en suspension.

On chiffre la quantité d'éléments en suspension par une grandeur appelée turbidité de l'eau qui se mesure grâce à la plus ou moins grande opacité de l'eau au passage de la lumière. Il existe plusieurs façons de mesurer la turbidité grâce à des unités comme le NTU ou le Jackson. L'eau potable doit avoir une turbidité inférieure à deux unités Jackson.



Centre d'Information du Cuivre  
Laiton et Alliages