

Chapitre II. QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX DE SURFACE

1. Introduction

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau. L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution des cours d'eau et d'apprécier leur capacité à s'auto épurer.

2. Principaux paramètres physico-chimiques et chimiques mesurables

.2.1. Température

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaire chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3° C s'avèrent souvent néfastes.

.2.2. pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.

.2.3. Conductivité électrique (EC)

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (mS/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm. L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la

température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent généralement pas des variations importantes en sels dissous qui peuvent être observées par exemple en cas de déversements d'eaux usées.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (χ à 25°C) :

$\chi = 0.005 \mu\text{S/cm}$	eau déminéralisée
$10 < \chi < 80 \mu\text{S/cm}$	eau de pluie
$30 < \chi < 100 \mu\text{S/cm}$	eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < \chi < 500 \mu\text{S/cm}$	eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (karst)
$500 < \chi < 1000 \mu\text{S/cm}$	eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$\chi > 30000 \mu\text{S/cm}$	eau de mer

.2.4.Potentiel redox (Eh)

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV.

.2.5.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 suite, 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...). Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l.

.2.6.Turbidité

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers est relative: certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension: la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte.

Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un tube plastique transparent. Unités: 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) = 1 JTU (Jackson TU) = 1 FTU (Formazin TU). Les classes de turbidités usuelles sont les suivantes:

NTU < 5	eau incolore
5 < NTU < 30	eau légèrement colorée
NTU > 50	eau colorée
NTU > 200	eau de surface "Africaine"

.2.7.Hydrocarbures

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS. Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires...).

.2.8.Eléments en solution

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels

régénérant utilisés dans les lave-vaisselle) ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel (sels de déneigement). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes. D'autres ions tels que le calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}), potassium (K^+), fluor (F^-) peuvent être également mesurés. Les éléments en solution sont exprimés en mg/l.

.2.9.Dureté de l'eau (ou titre hydrométrique)

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau.

Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces: dans les sables du Crétacé inférieur du Pays de Bray, l'eau à un titre hydrotimétrique compris entre 5 et 20 °F. Les eaux dures ont un titre compris entre 20 et 35 °F: c'est le cas de l'eau de la nappe de la craie dans la Somme. Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures (nappe captive de la craie, nappes de l'Eocène...)

La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage, et sur le lavage du linge. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations, les bouilloires et chauffe-eau, ainsi que dans les filtres des robinets. D'autre part, ces dépôts carbonatés ont un effet bénéfique en protégeant les conduites de la corrosion. Ces eaux dures pourront être adoucies par le distributeur ou par l'utilisateur (échange d'ions sur résine dans l'industrie ou chez le particulier).

.2.10.Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière,

l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. Globalement, plus la concentration en oxygène dissous (OD) est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande :

- Une valeur inférieure à 1 mg d'O₂ par litre indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments.
- Une valeur de 1 à 2 mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible ;
- une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité ;
- des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense (voir point 4.11)

La concentration en oxygène dissous peut être exprimée en mg d'O₂ par litre ou en % de saturation en oxygène. Comme l'illustre le tableau ci-dessous, la relation entre ces 2 valeurs est fonction de la température.

Tableau 2.1 : Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température

Température (°C)	Solubilité (mg O ₂ /l)
0	14,16
5	12,37
10	10,92
15	9,76
20	8,84
25	8,11

.2.11.Charge en matières organiques : demande biochimique en oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO)

Deux méthodes permettant d'évaluer la quantité en matière organique présente dans l'eau sont généralement utilisées : la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Ces deux méthodes se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique présente dans un échantillon d'eau.

La demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau et qui constituent leur source de carbone (graisses, hydrates de carbone, tensioactifs, etc.). Ce prélèvement d'oxygène se fait au détriment des autres organismes vivants du milieu aquatique. En ce qui concerne les eaux domestiques, environ 70% des composés organiques sont généralement dégradés après 5 jours et la dégradation est pratiquement complète au bout de 20 jours. L'indicateur utilisé est généralement la DBO₅ qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée.

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau. Elle permet de mesurer la teneur en matières organiques totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. La différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport entre la DBO et la DCO constitue une mesure indicative de la « dégradabilité » biochimique des composés présents dans l'eau.

Cependant, lorsque des composés toxiques sont présents, l'activité biologique est ralentie et, de ce fait, la quantité d'oxygène consommée après 5 jours est moindre. Ceci se traduit également par un rapport DCO/DBO élevé. La DBO et la DCO se mesurent en mg d'O₂ par litre.

.2.12.Substances eutrophisantes : différentes formes d'azote et de phosphore (nutriments)

Des éléments tels que l'azote (N) et le phosphore (P) constituent des éléments nutritifs (nutriments) indispensables aux végétaux. Les composés qui en contiennent comme les phosphates et les nitrates constituent dès lors des matières nutritives de choix pour les végétaux. Les concentrations en nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), ammoniac (NH_3) et ammonium (NH_4^+), phosphates (PO_3^-), azote (N) et phosphore (P) sont dès lors des paramètres importants pour le suivi de la qualité des eaux de surface. L'azote « Kjeldahl » représente l'azote organique (ex. acides aminés, urée) et l'azote ammoniacal. Quant à l'azote « total », il correspond à la somme de l'azote organique, de l'azote ammoniacal, des nitrites et des nitrates.

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en ortho-phosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques. Le contenu en phosphore total reprend non seulement les ortho phosphates mais également les polyphosphates (détergents, rejets industriels) et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut déjà se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates ($50 \mu\text{g P/l}$).

Les eaux naturelles non polluées contiennent généralement peu de nitrates. Les nitrates présents dans l'eau peuvent provenir de sources soit indirectes soit directes. Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée...), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH_4^+) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés « nitrification », sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses. Des concentrations élevées en nitrites témoignent souvent de la présence de matières toxiques.

.2.13.Chlorophylle

Le contenu en chlorophylle constitue une mesure sensible de la quantité d'organismes photosynthétiques et d'algues et, en ce sens, du degré d'eutrophisation de l'eau.

.2.14.Chlore libre

Le risque de trouver du chlore libre dans les eaux de surface est très limité dans la mesure où cette molécule est très réactive. Le chlore libre peut se combiner à des substances organiques pour former des formes halogénées (chloroforme, ...).

.2.15.Bore

Le bore ne constitue pas en lui-même un élément toxique mais révèle la présence de détergents.

.2.16.Métaux lourds

Le suivi des concentrations en métaux lourds (densité > à 5 g/cm³) est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement.

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, zinc, cadmium, arsenic sont régulièrement mesurées. Les métaux lourds caractérisent certains types de pollution, comme par exemple :

- La présence de cuivre et de nickel signe des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux ;
- Le chrome dénonce la présence d'une tannerie ;
- Le plomb est lié à des pollutions diffuses (apports dus aux transports routiers et à l'existence de sites industriels désaffectés) ;
- Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés (toitures métalliques, gouttières) ;
- Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité.

La toxicité du zinc, influencée par la dureté de l'eau, son contenu en oxygène et la température, concerne surtout les plantes et les algues. La toxicité du cuivre pour le milieu

aquatique est fortement dépendante de l'alcalinité, du pH et de la présence de matières organiques.

.2.17.Substances tensioactives

Les substances tensioactives sont constituées de molécules possédant une partie hydrophobe et une partie hydrophile. Ces tensioactifs sont qualifiés d'anioniques, cationiques, amphotères (substances pouvant à la fois se comporter comme un acide et comme une base) ou non ioniques selon la charge de leur groupe hydrophile. La configuration chimique des tensioactifs leur confère des propriétés de nettoyage importantes (dégraissage). Ces substances interviennent donc dans la composition des détergents, savons, etc.

Si les tensioactifs sont en eux-mêmes relativement peu toxiques, leur impact environnemental est lié au fait qu'ils peuvent rendre les membranes des cellules perméables à certaines substances qui habituellement les traversent peu ou ne les traversent pas.

Bibliographie :

DE VILLERS Juliette, SQUILBIN Marianne, YOURASSOWSKY Catherine (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement.