

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohamed Seddik Benyahia - Jijel



كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

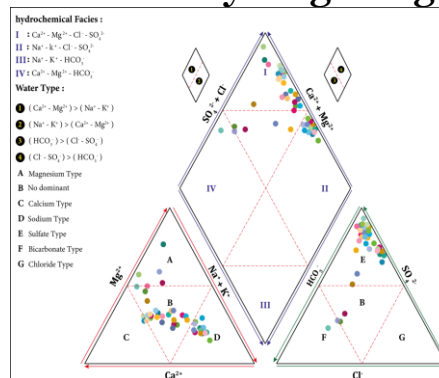
قسم: علوم الأرض و الكون

Département : des Sciences de la Terre et de l'Univers

Support de Cours

Hydrochimie II

Master 1 : Hydrogéologie



Dr. DROUCHE Abdelmalek

Année Universitaire 2024-2025

I- Rappels sur l'interprétation des résultats des analyses chimiques

Pour interpréter correctement les résultats des analyses chimiques des eaux, plusieurs éléments doivent être pris en compte :

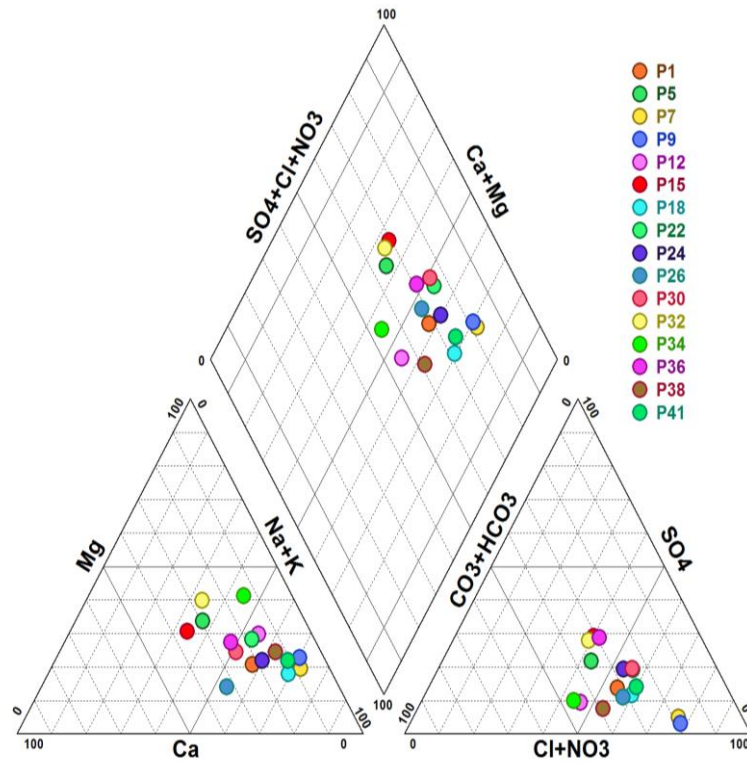
1. Normes et directives : Les résultats doivent être comparés aux normes et directives réglementaires en vigueur pour déterminer si l'eau est conforme aux normes de qualité établies pour la consommation humaine ou d'autres utilisations spécifiques.
2. Paramètres analysés : Les principaux paramètres analysés incluent le pH, la conductivité électrique, la concentration en ions (comme le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le sulfate, le nitrate, le chlorure, etc.), ainsi que la présence de contaminants organiques tels que les pesticides, les hydrocarbures, les métaux lourds, etc.
3. Sources potentielles de contamination : Les résultats des analyses peuvent aider à identifier les sources potentielles de contamination de l'eau, telles que les activités industrielles, agricoles ou urbaines, les déversements accidentels, les rejets d'eaux usées, etc.
4. Variations saisonnières et spatiales : Il est important de tenir compte des variations saisonnières et spatiales des caractéristiques chimiques de l'eau, car celles-ci peuvent être influencées par des facteurs tels que les conditions météorologiques, les activités humaines et les caractéristiques géographiques.
5. Impacts sur la santé et l'environnement : L'interprétation des résultats doit également prendre en compte les implications pour la santé humaine et l'environnement. La présence de certains contaminants peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine, la faune, la flore et les écosystèmes aquatiques.

En résumé, l'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux nécessite une compréhension approfondie des normes réglementaires, des paramètres analysés, des sources potentielles de contamination, des variations saisonnières et spatiales, ainsi que des impacts sur la santé et l'environnement, afin de prendre des mesures appropriées pour protéger la qualité de l'eau et assurer sa gestion durable.

II- Représentation graphiques des résultats des analyses chimiques

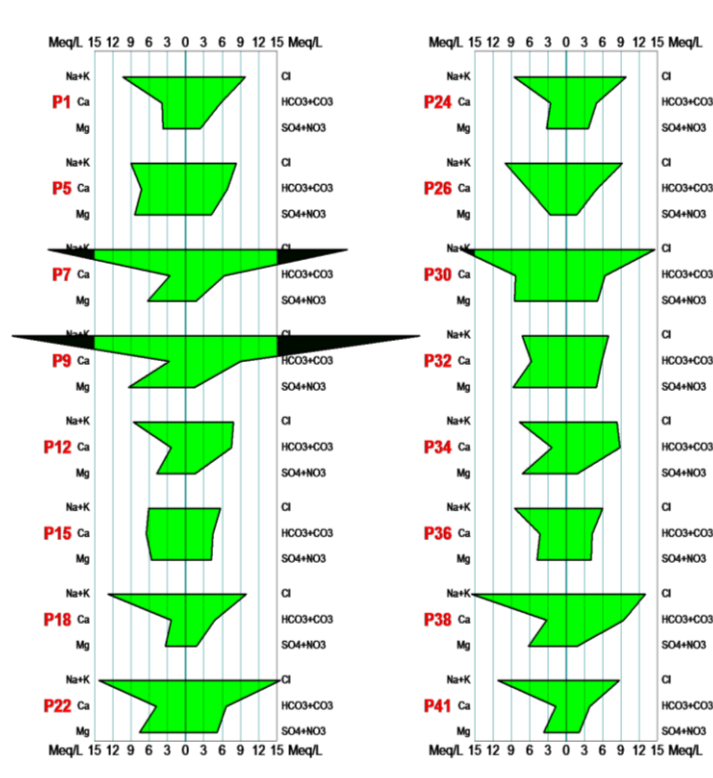
1- Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper ou le diagramme losangique consiste à reporter sur deux triangles les (r%) de chaque cation et anion; ces deux points sont reportés sur le losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau.



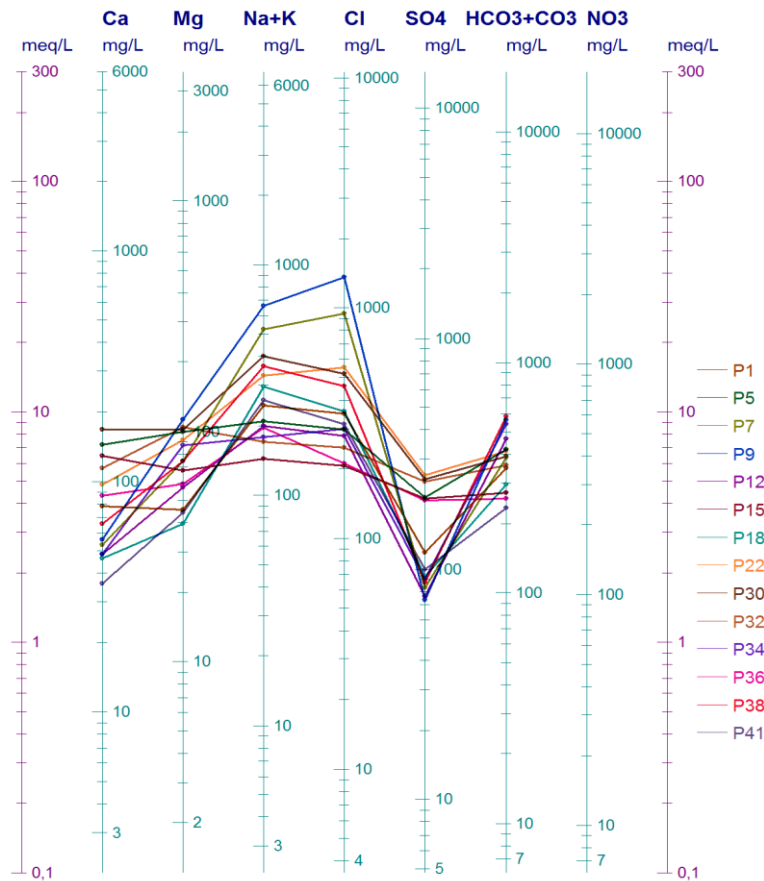
2- Diagramme de Stiff :

Ce genre de diagramme permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2}) et les anions à droite (Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{-2}).



3- Diagramme de Schoeller et Berkloff :

Ce digramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{-} , HCO_3^{-}), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons



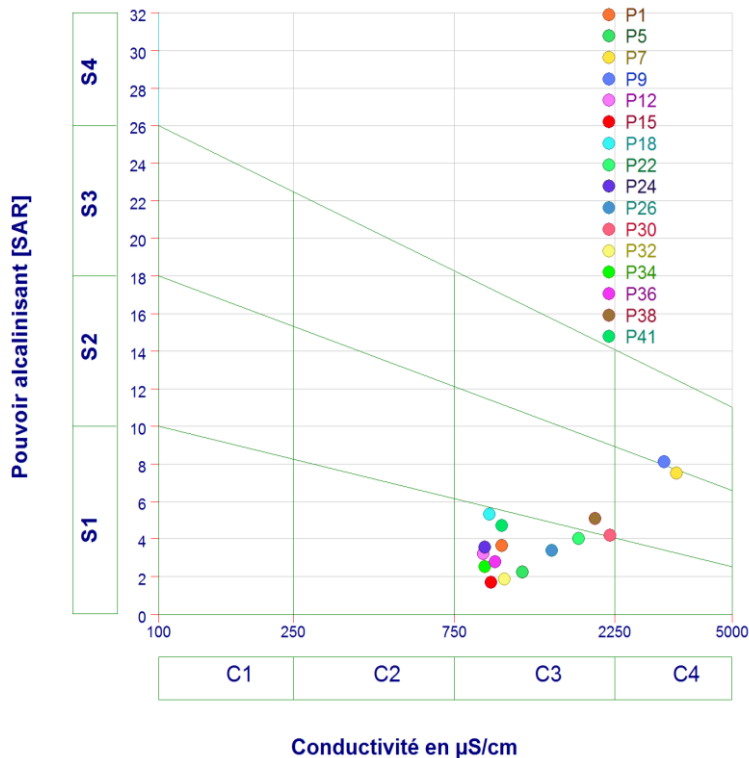
4- Aptitude des eaux à l'irrigation :

Diagramme de Richards (Riverside) :

Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de [salinisation](#) des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relative à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais) aussi appelé "pouvoir alcalisant" qui est une mesure du risque de la [sodisation](#) du sol du fait de l'[irrigation](#). Le diagramme est découpé en quatre classes de [salinité](#) (axe des abscisses) et quatre classes de risques de [sodisation](#) (axe des ordonnées)

Le SAR est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité

électrique de l'eau. $SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$, où tous les éléments sont exprimés en *még/l*.



Qualité	Classes
Bonne	C1 S1, C1 S2
	C1 S2, C2 S2
Admissible	C3 S1, C3 S2
Médiocre	C3 S3
	C4 S1
	C4 S2

Chaque qualité présente ses propres caractéristiques :

La qualité bonne : en général, l'eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes au sel et sur les sols ayant une bonne perméabilité.

La qualité admissible : en général, l'eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit être cependant contrôlée.

La qualité médiocre : en général, l'eau est fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

III- Pollution des eaux

1- Les principales sources de pollution

L'activité humaine engendre des rejets gazeux, liquides et solides dans le milieu (atmosphère, eaux de surface, sol, nappes) qui, directement (rejets) ou indirectement, vont affecter les eaux souterraines.

a. Origine domestique :

- La pollution par les puits perdus,

- l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol (fosses septiques).
- les stations d'épuration urbaines surchargées...
- Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviats riches en polluants.



Pollution à travers les puits perdus

b. Origine industrielle :

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité:

- substances organiques banales,
- produits organiques de synthèse,
- hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...
- Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un procédé industriel) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...)
- impact des rejets miniers (exploitations minières)
- L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels.



Pollution de l'air, l'eau et le sol par les rejets industriels

<https://fr.vecteezy.com/art-vectoriel/21669884-air-l-eau-et-sol-la-pollution-par-industriel-production-environnement-la-pollution>

c. Origine agricole :

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux.

- L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques
- Le transfert des engrais et pesticides à la nappe.
- La pratique de l'irrigation accélère le transfert.
- L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes.
- Les élevages intensifs de porcs, bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais.



Pollution agricole par les engrais et les pesticides

<https://infodujour.fr/economie/22461-enquete-sur-102-sources-deau-potable>

2- Les types de pollution de l'eau Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution chimique, physique et biologique.

- a. **Pollution chimique** La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux (les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels) ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Les polluants chimiques sont classés en: substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les détergents, les colorants et autres éléments toxiques.
- b. **Pollution physique** La pollution physique désigne la pollution thermique due à la température élevée causant une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution mécanique, qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble.
- c. **Pollution biologique** Les agents biologiques de pollution de l'eau sont les micro-organismes et les matières organiques fermentescibles.

3- Les principaux polluants de l'eau

- a. **Les matières en suspension MES :** Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles confèrent à l'eau un aspect trouble quand les sédiments se déposent, elles diminuent la luminosité dans l'eau qui freine la photosynthèse. Elles peuvent provoquer une eutrophisation.
- b. **Les sels minéraux :** Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels.
- c. **Les matières organiques :** Ce sont tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre et le lactosérum des industries agroalimentaires ainsi que les hydrocarbures. Ces matières constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les micro-organismes vont vider le milieu de son O_2 , fatal pour la vie aquatique. Ils vont chercher l' O_2 dans les sulfates dissous (SO_4^{-2}), qui se dégage en sulfure d'hydrogène engendrant une odeur nauséabonde caractéristique d'une eau très polluée.
- d. **Les métaux lourds (ETM) :** Les métaux lourds sont des polluants qui ne se dégradent pas dans l'environnement. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et peuvent contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Certains métaux lourds sont toxiques comme le cadmium

(Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le chrome (Cr), et à un degré moindre le cuivre (Cu) et le zinc (Zn).

e. Les pesticides : Les pesticides constituent un problème majeur pour l'environnement. Il y a plusieurs groupes de pesticides à persistances différentes. Les plus persistants sont les hydrocarbures chlorés comme le DDT qui s'accumule dans les tissus graisseux.

f. Les matières fertilisantes : La présence d'azote et de phosphore en quantité dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues, diminuent la luminosité et consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés aux cultures.

3- Les indicateurs de qualité (Paramètres de qualités) :

Que ce soient des éléments majeurs, mineurs ou traces, que ce soient des isotopes stables ou radioactifs, ou encore des matières organiques, nous traitons dans cette partie de l'ensemble des marqueurs qui caractérisent les principales origines naturelles ou anthropiques généralement retrouvées dans les eaux souterraines. En ce qui concerne les éléments dits « majeurs », c'est-à-dire les anions et cations qui constituent de façon prépondérante la minéralisation des eaux, nous nous référons à leur concentration volumique (en mg.l^{-1}). Les éléments traces sont les éléments présents à de très faibles concentrations dans les eaux (inférieures à $1\mu\text{g.l}^{-1}$). Parmi ces éléments ce sont les métaux les plus classiquement utilisés en hydrogéologie.

3-1. Paramètres physico-chimique

-La température :

À l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, la température ne doit pas dépasser 25°C.

Une eau fraîche est généralement plus agréable au goût qu'une eau tiède, une température élevée favorise la croissance des microorganismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur et aggraver les problèmes de corrosion.

-Le pH :

Les eaux naturelles sont des solutions ionisées, elles peuvent être acides, basiques ou neutres. Le pH des eaux destinées à la consommation publique, est un paramètre très important, car il agit sur le goût et l'efficacité des procédés de traitement (chloration, coagulation,..) ainsi que sur les phénomènes de corrosion, agressivité et entartage des canalisations.

Le pH idéal varie selon la composition de l'eau et la nature des matériaux de construction utilisés dans le réseau de distribution, mais il se situe entre 6,5 et 9,5 .pour que la désinfection par le chlore soit efficace, le pH doit de préférence être maintenu au- dessous de 8.

-La conductivité électrique :

C'est un critère **d'évaluation** de la salinité et de la minéralisation globale .elle varie en fonction de la température et la concentration des substances dissoutes (sels minéraux, matières organique).

Selon les normes des conductivités électriques **données par l'OMS, on constate si l'eau est de bonne ou de mauvaise qualité.**

50 à 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$: qualité d'eau excellente.

400 à 750 $\mu\text{s}/\text{cm}$: bonne qualité.

750 à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$: qualité médiocre mais eau utilisable

> à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$: minéralisation excessive. (Analyse de l'eau)

-Titre alcalimétrique de l'eau (TA) :

Le titre alcalimétrique (TA) permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et les bicarbonates dans l'eau. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale. Le titre alcalimétrique complet **TAC**, donnant l'alcalinité totale de l'eau ne doit pas être **supérieur** à 50 degrés F.

-La dureté (TH) : C'est la somme des concentrations en cations Ca^{++} et Mg^{++} . Une eau dite douce lorsqu'elle est pauvre en ces cations et elle est dite dure lorsqu'elle en est riche.

Une dureté supérieure à 50H °(F) peut provoquer l'entartrage du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écumé.

3-2. Les composés chimiques majeurs:

La minéralisation totale d'une eau de boisson de bonne qualité est de l'ordre de quelques centaines de mg/l. les textes donnent une limite à ne pas dépasser 1 2mg/l.

- Les chlorures

C'est un élément très répandu dans la nature, il se trouve sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl_2), la majorité des ions chlorures (Cl^-), se trouvent dans les océans.

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leur présence en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. La présence des chlorures peut être attribuée à l'action anthropique tel que, les effluents de l'industrie chimique, l'exploitation des puits de pétrole et des mines de potasse, les rejets des égouts, les eaux de drainage d'irrigation et l'invasion marine dans les régions côtières.

Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires et rénales.

- Les sulfates

L'origine des sulfates est liée à la dissolution des formations gypseuses, aux pesticides et aux engrais à base de sulfates. L'eau de pluie peut en fournir des quantités importantes par oxydation dans l'atmosphère de l'anhydrite sulfureuse lors de la combustion du charbon et du pétrole. Les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont liés aux cations majeurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . A ceux du Pb^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} ; la plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent néanmoins être réduits en sulfures, volatilisés dans l'air en hydrogène sulfuré (H_2S), précipités en sel insoluble ou assimilés par des organismes vivants.

Plusieurs types d'industries qui peuvent fournir des teneurs appréciables en sulfates : tanneries, industrie papetière et textile, ateliers de décapage métallique. Les sulfates d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et de fer $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, largement utilisés pour la floculation dans le traitement de l'eau, augmentent également la teneur en sulfates des eaux traitées.

La forte concentration en sulfates provoque de troubles gastro-intestinaux; aussi elles peuvent donner un goût désagréable. L'organisation mondiale de la santé recommande comme valeur limite 250 mg/l. L'union européenne indique un niveau guide de 25 mg/l et une concentration maximale admissible de 250 mg/l.

- Les Bicarbonates

Les bicarbonates sont des sels dérivés de l'acide carbonique, à teneur réduite en hydrogène et contiennent deux fois plus d'acide que les carbonates. La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ...) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2).

- Le sodium

Le sodium est le 6^{ème} élément du point de vu abondance naturelle. Ce métal, très abondant (environ 26 g/kg de la croûte terrestre soit 2.83 %) ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (chlorures, sulfates,...), cet élément joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols. Le sodium provient du lessivage des formations riches en NaCl (le sel gemme), des formations argileuses, argilo-marneuses, des rejets des eaux usées d'origine domestique, salage des routes verglacées et diverses industries. Le sodium est, après le chlore, le deuxième élément dissous le plus abondant dans l'eau de mer.

Il existe avec des concentrations variables dans la totalité des eaux, son absorption ne provoque pas de danger sauf pour les malades qui souffrent d'hypertension de cardiopathies artériosclerotique.

-Le potassium

Le potassium, 7^{ème} élément en abondance naturelle, il est beaucoup moins abondant que le sodium et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier bien que le potassium soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau. On le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais. Il se trouve aussi dans la végétation sous forme de carbonates. Certains rejets industriels et d'usines d'engrais peuvent entraîner des quantités de potassium relativement importantes dans l'eau.

C'est un élément à peu pris constant dans l'eau, les concentrations dans l'eau de boisson dépassent rarement 7 mg/l.

- Le calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature, c'est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Leur teneur dans l'eau, qui peut varier de 1 à 150 mg/l est liée principalement à deux origines naturelles :

- la dissolution des formations carbonatés ($\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{++} + \text{CO}_3^{-}$),
- soit par dissolution des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O}) = \text{Ca}^{++} + \text{SO}_4^{-} + 2(\text{H}_2\text{O})$).

Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables, par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

Le calcium peut provenir de l'oxyde de calcium utilisé dans le bâtiment, la production de papier, le raffinage du sucre et du pétrole, la tannerie et le traitement des eaux brutes et résiduares. Dans les cours d'eau pollués organiquement, la concentration en calcium peut être accrue car

les protéines et acides faibles provenant de l'oxydation des matières organiques augmentent la mise en solution du carbonate de calcium.

- Le magnésium

Le magnésium est le huitième élément le plus abondant dans la nature. Ses principales sources sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires, ainsi que sa large utilisation industrielle (alliage, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, engrais, céramiques, explosifs, médicaments,...). Dans les régions riches en roches magnésiques, l'eau peut contenir des concentrations de 10 à 50 mg/l de cet élément. Les sulfates et les chlorures de magnésium sont très solubles et l'eau en contact avec la roche mère peut contenir plusieurs centaines de milligrammes de magnésium par litre.

3-3. Composés chimiques mineurs

- **Phosphates PO_4^{3-}** : Les phosphates peuvent se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3 , pyro $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ et ortho H_3PO_4 , en milieu aqueux, les formes méta et pyro tendant vers la forme ortho pour des pH de 5 à 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphates sont données par :



- **Le Fer (Fe)** : Le Fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre parmi les métaux lourds par ordre d'abondance. On le trouve surtout sous forme Fe^{+2} ou Fe^{+3} . Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite (Fe^{+2}), qui est soluble. Ce dernier est oxydé en Fe^{+3} par le contact avec l'oxygène de l'air, le Fe^{+3} précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et sont précipités ou adsorbés par les sédiments.

- **Le Manganèse (Mn)** : Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre de 1mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries (Rodier, 1976).

- **L'Aluminium (Al)** : La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium (coagulant). Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer. D'après l'OMS, la présence d'aluminium à des concentrations supérieures à 0.2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde

d'aluminium dans les canalisations et d'une concentration de la coloration de l'eau par le fer.

- **Le Sulfure d'hydrogène** : L'hydrogène sulfuré est un toxique majeur par inhalation. Dans les eaux, la présence de ce gaz et de sulfures est susceptible de provenir soit d'eau usée, soit de pollutions industrielles.

- **Le fluor (F)** : Le fluor dans les eaux souterraines est l'apatite présente dans les bassins phosphatés, et la fluorine présente dans les roches magmatiques alcalines et dans des filons. Les zones de thermalisme sont également fréquemment concernées. C'est essentiellement le temps de contact entre roche et eau souterraine, ainsi que contrôles chimiques qui sont la cause principale des concentrations élevées en iode. Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires. Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/L (Rodier, 1976).

3-4. Composés chimiques en traces (ETM)

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. Cependant, la classification en métaux lourds est souvent discutée car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement « lourds » (par exemple le zinc), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas des métaux (c'est le cas de l'arsenic qui est un métalloïde⁴). Ce terme générique désigne donc indistinctement des métaux et métalloïdes réputés toxiques. Pour ces différentes raisons, l'appellation ((éléments traces métalliques » -ETM- ou par extension «éléments traces» est préférable à celle de métaux lourds.

Les substances inorganiques ont une place importante parmi les substances chimiques naturellement présentes dans les sols et les roches. Le développement de nos sociétés industrielles est très lié à la découverte et à l'utilisation de métaux.

Le suivi des concentrations en métaux lourds 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 ETM se dissolvent très bien dans une eau acide. Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide. L'analyse de ces solides permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu. Généralement, ils caractérisent certains types de pollution. La présence de cuivre et de nickel, est un 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). 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 (ex. toitures métalliques). Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures.

4. Les indicateurs biologiques

- **La matière organique (MO) :** La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne. Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, odeurs, saveurs...etc.

La contamination des eaux par des matières organiques est mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium. Pour l'eau de boisson, la valeur idéale est de 2 mg /l.

- **L'ammonium (NH_4^+) :** Pour l'ammonium si sa concentration est supérieure à 0,5mg/l il faut suspecter une pollution récente d'origine industrielle ou humaine.

- **Les Nitrites (NO_2^-) :** La présence des nitrates NO_2 dans les eaux est un signe de pollution (nombre guide : 0mg /l, concentration maximale 0,2mg /l). Elle justifie une analyse chimique et bactériologique détaillée.

- **Les Nitrates (NO_3^-) :** Une forte teneur en nitrates NO_3 peut être d'origine naturelle mais indique parfois la présence des déchets biologique dans l'eau ou de ruissèlement riche en engrais. Le nombre guide est de 25 mg/l et la concentration maximale 50 mg/l. en trop grande quantité, les nitrates empêchent le sang de transporter l'oxygène vers les tissus humains.

- **La demande chimique en oxygène (DCO) :** C'est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables.

L'oxydation est effectuée ici dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), en milieu acide fort (H_2SO_4) et au reflux pendant deux heures.

La DCO constitue donc un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prête mal aux mesures de DCO, exprimée, elle aussi en mg/l d'oxygène, diffère de celle de la -DBO.

- **La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :** L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution.

La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivées ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO_5 , c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée ; pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes. L'analyse de la DBO_5 est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes.

Le tableau suivant, classe les eaux du point de vue qualité selon les valeurs de DBO_5 .

Tableau N°1: Qualité de l'eau en fonction de la DBO_5 (BERRYMAN D, 1990)

DBO_5	Qualification de l'eau
$DBO_5 < 1 \text{ mg/l d'O}_2$	Excellente qualité
$DBO_5 = 2 \text{ mg/l d'O}_2$	Bonne qualité
$DBO_5 = 3 \text{ mg/l d'O}_2$	Qualité moyenne
$DBO_5 = 5 \text{ mg/l d'O}_2$	Eau moyennement polluée
$DBO_5 > 10 \text{ mg/l d'O}_2$	Eau polluée

5. Biodégradabilité de l'eau

La DBO correspond à la Demande Biochimique en Oxygène, c'est-à-dire la quantité d'oxygène qu'il faut pour oxyder (ou dégrader) les composants organiques biodégradables d'un effluent. La DCO correspond à la Demande Chimique en Oxygène, c'est-à-dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder (ou dégrader) l'ensemble des composants organiques d'un effluent. Le rapport DCO/DBO indique donc la biodégradabilité de l'effluent : plus il est élevé, moins l'effluent est biodégradable ; plus il est faible, plus l'effluent est biodégradable.

On considère qu'une valeur du rapport DCO/DBO entre :

- **1 et 2** correspond à des effluents **facilement biodégradables** (industries agroalimentaires)
- **2 et 3** correspond à des effluents équivalents à des eaux résiduaires urbaines
- **3 et 4** correspond à des eaux usées **moins facilement biodégradables** (urbaines + industrielles)
- **4 et +** correspond à des effluents **difficilement biodégradables** (industriels)

Des solutions telles que le biocapteur Node développé par Hydreka permettent une estimation en temps réel de la DBO et/ou de la DCO et ainsi une meilleure compréhension de la qualité des effluents circulant dans un réseau d'assainissement et entrant dans une station d'épuration.

- Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau est indispensable à toute forme de vie aquatique. Il provient principalement de l'atmosphère et de la photosynthèse des algues. La teneur s'exprime en mg.L^{-1} ou en pourcentage de saturation en oxygène.

Cette teneur dépend de nombreux facteurs : température (tableau 1), pression atmosphérique, salinité, pénétration de la lumière, quantité de nutriments, respiration des organismes aquatiques, oxydation et dégradation des polluants, etc. Par exemple, la présence de matière organique réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique. La teneur diminue quand la température augmente ou que la pression atmosphérique diminue avec l'altitude.

L'oxygène dissous est également un paramètre important pour les industriels qui ont choisi un traitement biologique de leurs eaux usées (secteurs papetiers, agroalimentaires, etc.).

Tableau 1. Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température.

Température en °C	Solubilité en mg.L^{-1}
5	12,4
10	10,9
20	8,8

Remarques :

- La valeur critique pour les poissons correspond à une teneur en oxygène inférieure à 4 mg.L^{-1} ;
- Une eau de bonne qualité est caractérisée par une teneur comprise entre 4 et 6 mg L^{-1} ;
- En l'absence d'oxygène dissous ou à une concentration inférieure à 1 mg L^{-1} , seuls les organismes anaérobies peuvent se développer en transformant le carbone en méthane CH_4 , le soufre en dihydrogène de soufre H_2S , et l'azote en ammoniac NH_3 et amines.