Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Algérie
Faculté de SNV - Département d'agronomie
Master 2 (PTPA)

Traitement des eaux usées industrielles

CHAPITRE II

Propriétés fondamentales de l'eau

2024- 2025

Dr. MEROUFEL Bahia

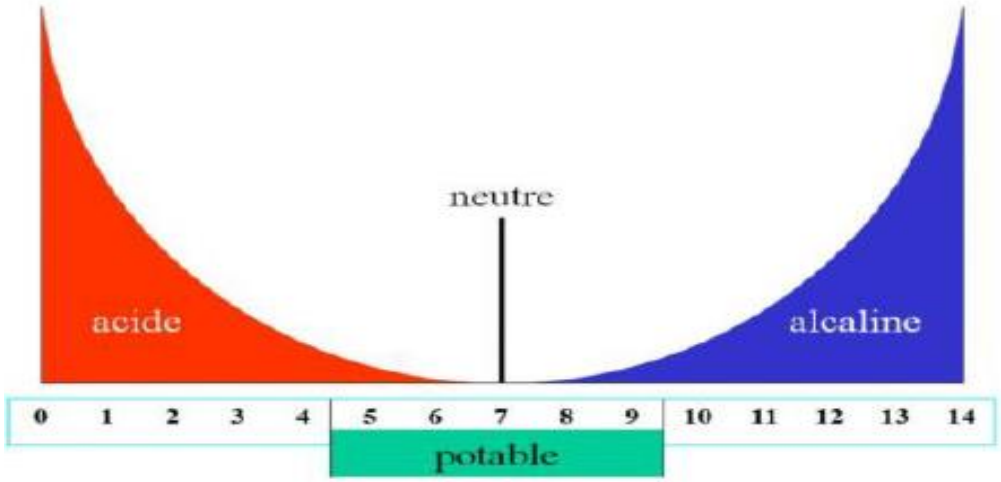
1. Paramètres chimiques

1.1. Potentiel d'hydrogène pH

L'eau peut se diviser en ions selon la réaction suivante: $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$

Le pH d'une solution est le cologarithme décimal de la concentration en ions H+ de cette solution $pH = \frac{1}{\log(H^+)}$

- Pour une eau pure il y a 10^{-7} ions H+, son pH est donc de: pH= 7
- Si la concentration H+ est plus forte, **le pH sera < à 7** et la solution sera dite « acide ».
- Si la concentration H+ est plus faible, **le pH sera > à 7** et la solution sera dite « alcaline » ou « basique »



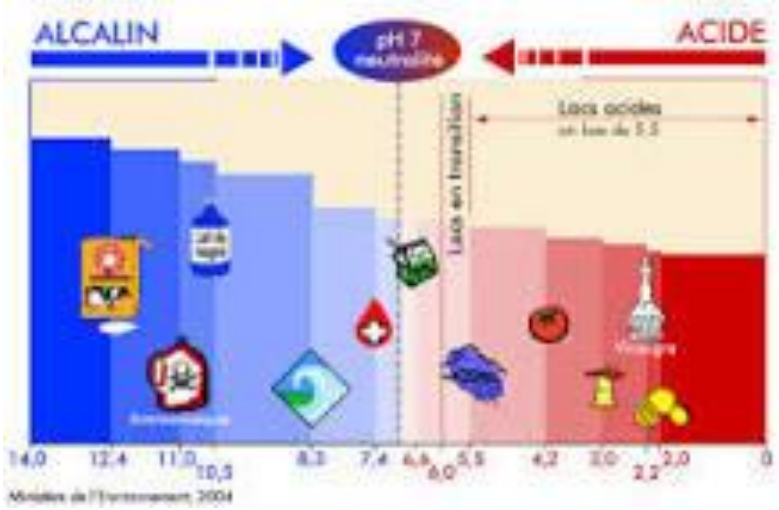


Figure 1: Echelle logarithmique de pH.

Les principales causes d'une augmentation de pH sont les suivantes :

- Une eau trop dure,
- Une température extérieure élevée,
- Une utilisation importante de produits chimiques,

1.2. Conductivité et résistivité de l'eau

Elle quantifie la concentration globale en ions dissous. Plus la minéralisation de l'eau est élevée, plus la concentration en ions dissous est élevée et plus la conductivité électrique est grande.

Cette conductivité électrique est mesurée en micro Siemens/cm mais est généralement exprimée par son inverse qui est la résistivité électrique exprimée en (Ohm.cm) ou (Ω·cm)

$$1\ \mathrm{S/m} = 10^4\ \mu\mathrm{S/cm} = 10^3\ \mathrm{mS/m}$$

$$\text{Résistivité } (ohm.cm) = \frac{1000\ 000}{\text{conductivité } (microSiemens/cm)}$$

Exemples

Eau de mer : 80 ohm.cm

Eau potable : 1 000 à 6 000 ohm.cm

Vapeur d'eau : 2 000 000 ohm.cm

1.3. Balance ionique

L'eau est souvent en équilibre électrolytique, ce qui signifie que la somme des charges des cations est égale à celle des anions. Cet équilibre est essentiel pour diverses fonctions biologiques et environnementales.

La qualité de l'eau peut être déterminée en mesurant ces ions.

La balance ionique (BI) s'appuie sur le principe que la somme des anions majeurs et la somme des cations majeurs sont équivalentes (concentrations exprimées en méq/L) :

$$[Cl^-] + [SO_4^{2-}] + [NO_3^-] + [HCO_3^-] = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+]$$

L'erreur en % est donnée par :

$$BI = \frac{\sum_{cations} - \sum_{anions}}{\sum_{cations} + \sum_{anions}} \cdot 100$$

Une analyse chimique des eaux n'est considérée comme représentative et acceptable que lorsque la balance ionique est inférieure ou égale à 10%.

1.4. Dureté, titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique représente la somme des cations alcalinoterreux, soit les ions calcium et magnésium essentiellement qui sont des éléments importants dans la formation du tartre.

On distingue:

- Le TH total,
- Le TH calcique qui ne mesure que les ions calcium,
- Le TH magnésien qui ne mesure que les ions magnésium.

1 degré hydrotimétrique français (1°TH) est égal à une concentration globale en ions calcium et magnésium de 10^{-4} mol.L^{-1}. On l'exprime aussi souvent en masse de ces ions par litre d'eau ou en masse équivalente de carbonate de calcium par litre d'eau.

Valeurs du TH *:* les normes habituelles classent les eaux naturelles de la façon suivante :

- eau très douce : $0 \leq TH \leq 5$
- eau douce : $5 \leq TH \leq 15$
- eau demi-dure : $15 \leq TH \leq 25$
- eau dure : au-delà de 25

Pour les eaux potables, il est souhaitable d'avoir $TH \leq 15$, l'idéal étant de 12 à15.

Application

On étudie l'eau minérale de Lalla Khedidja pour laquelle on lit sur l'étiquette :

« Ca^{2+} : 53 mg/L et Mg^{2+} : 7 mg/L ».

Si on en croit l'étiquette, quelle est la dureté de cette eau ? En déduire le degré hydrotimétrique et la qualité de cette eau minérale.

$[Ca^{2+}] = 53 .10^{-3}/40 = 1{,}325.10^{-3}$ mol/L

$[Mg^{2+}] = 7 .10^{-3}/24 = 0{,}291.10^{-3}$ mol/L

Dureté *$= [n(Ca^{2+}) + n(Mg^{2+})]/L =$* ***$1{,}616 .10^{-3}$ mol/L***

1° TH = 10^{-4} mol/L.

° TH = $([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) /10^{-4} = 1{,}616.10^{-3}/ 10^{-4} =$ ***16,16***

L'eau est de qualité demi-dure, très proche de l'eau douce car pour une eau demi-dure :

$15 \leq TH \leq 25$

1.5. Indice de Rysnar

L'indice de Ryznar (ou indice de stabilité de Ryznar) est une mesure utilisée pour évaluer la tendance corrosive ou incrustante d'une eau. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$RSI = 2 \times pHs - pH$$

où **pHs** est le pH de saturation. L'indice de Ryznar aide à déterminer si l'eau a tendance à corroder les matériaux ou à former des dépôts de carbonate de calcium.

Voici une brève interprétation de l'indice :

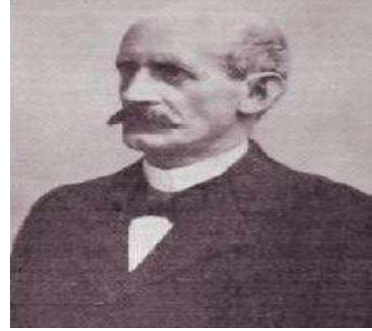
- **Inférieur à 6,5** : Pas de tendance corrosive.
- **Entre 6,5 et 7,2** : Corrosion légère.
- **Entre 7,2 et 7,8** : Corrosion modérée.
- **Entre 7,8 et 8,5** : Corrosion sévère.
- **Supérieur à 8,5** : Corrosion très importante.

Entartrage

corrosion

Cet indice est particulièrement utile dans les systèmes de distribution d'eau pour prévenir les problèmes de corrosion et d'entartrage.

1.6. Azote total Kjeldahl (NTK)



L'azote total Kjeldahl (NTK) est une mesure de la quantité totale d'azote dans un échantillon, incluant l'azote organique (amine, protéine…) et minéral (l'ammonium, ammonic…)

Voici comment cela fonctionne :

1.Minéralisation : L'échantillon est traité avec de l'acide sulfurique concentré, convertissant l'azote organique en ammonium.

2.Distillation : L'ammonium est ensuite converti en ammoniac (NH_3) par l'ajout d'une base forte.

3.Dosage : L'ammoniac est distillé et absorbé dans une solution acide, puis titré pour déterminer la quantité d'azote.

Cette méthode est couramment utilisée pour analyser la qualité de l'eau, du sol et des produits alimentaires

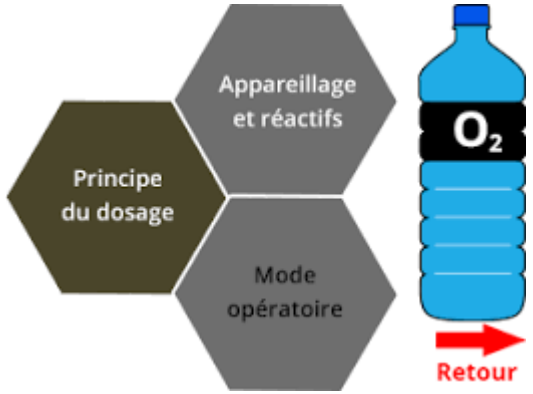
1.7. Oxygène dissous

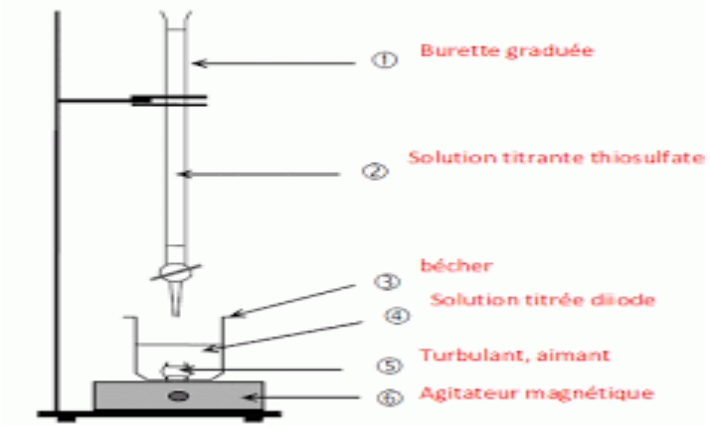
L'oxygène dissous (OD) est essentiel pour la vie aquatique. C'est l'oxygène qui est libre et disponible dans l'eau pour les organismes, mesuré en milligrammes par litre (mg/L) ou en pourcentage de saturation.

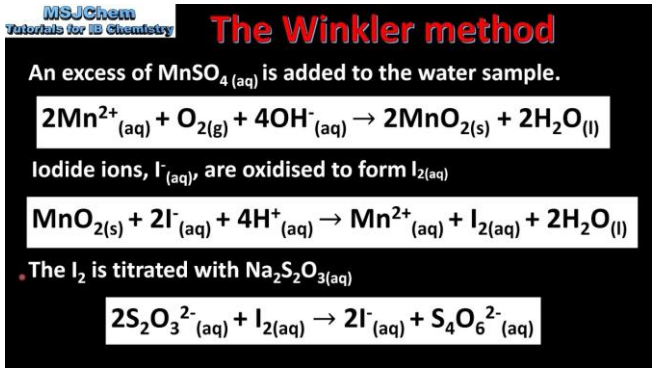
Voici comment on peut évaluer sa concentration :

1.Méthodes de Mesure : Il existe plusieurs techniques, comme la méthode de Winkler, les électrodes à oxygène et les sondes optiques.

1.Facteurs Affectant l'OD *: La température (l'OD diminue à mesure que la température augmente), la salinité (plus élevée diminue l'OD), et les activités biologiques (*comme la photosynthèse et la respiration).







1.8. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg/L, est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour évaluer la charge globale en polluants organiques d'une eau (rivières, lacs, mer, ou eaux usées ou résiduaires industrielles).

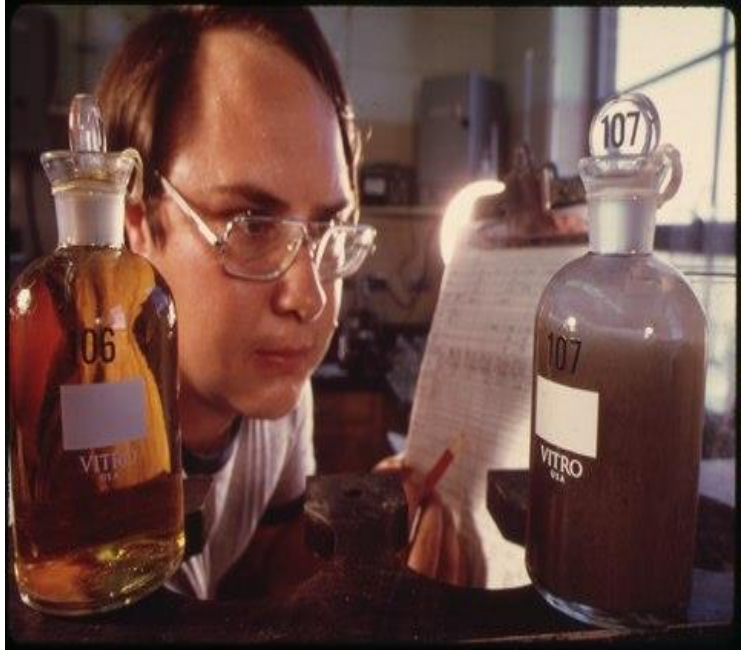
Voici comment on peut la mesurer et ce qu'elle signifie :

1.Méthodes de Mesure : La DCO est généralement mesurée en ajoutant un oxydant fort, comme le dichromate de potassium, à l'échantillon d'eau en présence d'un catalyseur et en chauffant la solution. Le processus oxyde la matière organique, et la quantité d'oxygène consommée est mesurée.

1.Importance de la DCO : Une DCO élevée signifie qu'il y a beaucoup de matière organique dans l'eau, ce qui peut réduire la quantité d'oxygène disponible pour les organismes aquatiques et indiquer une pollution potentielle.

1.Applications Pratiques : Utilisée dans la gestion des eaux usées, le contrôle de la qualité de l'eau et l'évaluation de la pollution industrielle.

1.9. Demande Biochimique en Oxygène (DBO)



La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) est une mesure cruciale dans l'analyse de la qualité de l'eau. Elle évalue la quantité d'oxygène nécessaire pour les microorganismes à décomposer la matière organique présente dans l'eau. Voici ce que tu dois savoir :

1.Méthode de Mesure : On incube l'échantillon d'eau avec des micro-organismes pendant 5 jours (DBO_5)à une température spécifique, généralement 20°C. La diminution de l'oxygène dissous est ensuite mesurée.

2.Importance de la DBO : Une DBO élevée indique une grande quantité de matière organique, ce qui peut signifier une pollution organique importante. Cela peut mener à une désoxygénation des plans d'eau, nuisant la vie aquatique.

3.Applications Pratiques : Utilisée pour évaluer la pollution des eaux usées domestiques et industrielles. Elle aide aussi à concevoir et à surveiller les systèmes de traitement des eaux usées.

1.10. Carbone organique dissous (COD)

Le **Carbone Organique Dissous (COD)**, ou **Dissolved Organic Carbon (DOC)** en anglais, est un paramètre important pour évaluer la qualité de l'eau. Il représente la quantité totale de carbone organique dissous dans l'eau, provenant de la décomposition de matière organique comme les déchets végétaux et les excréments.

Voici quelques points clés sur le COD :

1.Importance : Le COD est utilisé pour caractériser et suivre l'évolution du taux de carbone dissous dans les eaux douces, saumâtres ou marines. Une concentration élevée de COD peut indiquer une pollution organique significative.

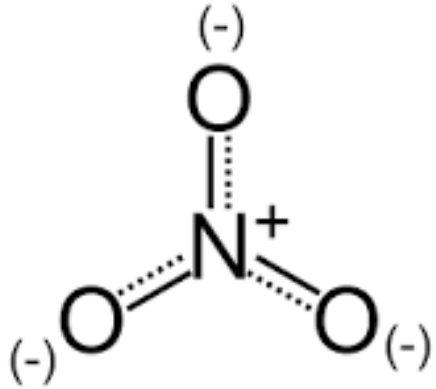
2.Méthodes de Mesure : Le COD est généralement mesuré par combustion oxydante à haute température, souvent avec l'utilisation de catalyseurs pour accélérer la réaction.

3.Applications : Il est utilisé dans la gestion des eaux usées, le contrôle de la qualité de l'eau et l'évaluation de la pollution industrielle

1.11. Nitrates

Le nitrate est une substance chimique naturelle qui entre dans le cycle de l'azote. Il est présent à l'état naturel partout dans l'environnement. Il se crée dans l'atmosphère lors de l'oxydation de l'azote par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau.

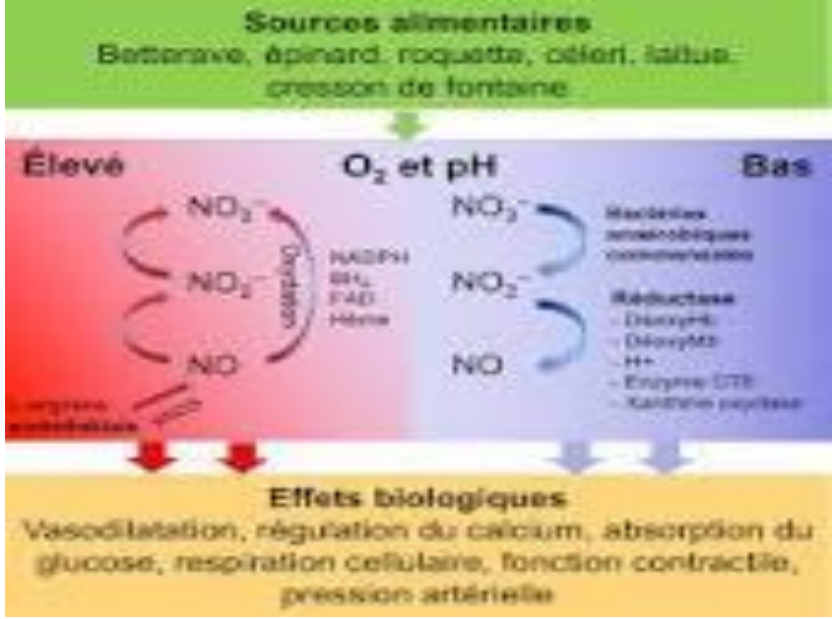
Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines.



La présence de nitrates dans les eaux continentales provient à 66 % de l'agriculture, suite à l'épandage de doses massives d'engrais azotés et de lisier (effluents d'élevage).

Est-ce que les nitrates sont dangereux pour la santé ?

Les nitrates se transforment en nitrites dans son corps, passent de l'intestin au sang, et empêchent les globules rouges de transporter correctement l'oxygène vers les cellules. C'est l'asphyxie et, au pire, la mort.



Comment tester les nitrates ?

A part l'analyse dans un laboratoire, le test se fait en plongeant une bandelette dans l'eau, de la laisser sécher et de comparer sa couleur avec l'échelle colorimétrique fournie. Une bandelette vous donne les taux de nitrates et de nitrites en un seul test.

1.12. Phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique.

Il favorise la prolifération algale qui est l'un des principaux signes de l'eutrophisation des eaux. Ce phénomène est particulièrement marqué dans les eaux stagnantes.

Comment Eliminer le phosphore dans l'eau ?

Il est nécessaire d'utiliser un produit à action ciblée spécial piscine comme le Neutral Phosphates. Neutral Phosphates élimine les phosphates de l'eau en les agglomérant et en les piégeant dans le filtre piscine. Il limite également l'utilisation d'anti-algues et améliore la clarté de l'eau.

Comment mesurer le phosphore dans l'eau ?

Vous pouvez réaliser un test vous-même, en utilisant un kit de test spécifique pour mesurer le taux de phosphate.

Ces kits existent en bandelettes colorimétriques qui changent de couleur au contact de l'eau et en fonction du résultat obtenu.

2. Paramètres physiques

2.1. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle sur la conductivité électrique, c'est-à-dire dans la solubilité des sels et surtout des gaz et dans la dissociation des sels dissous, et pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels après la détermination du pH.

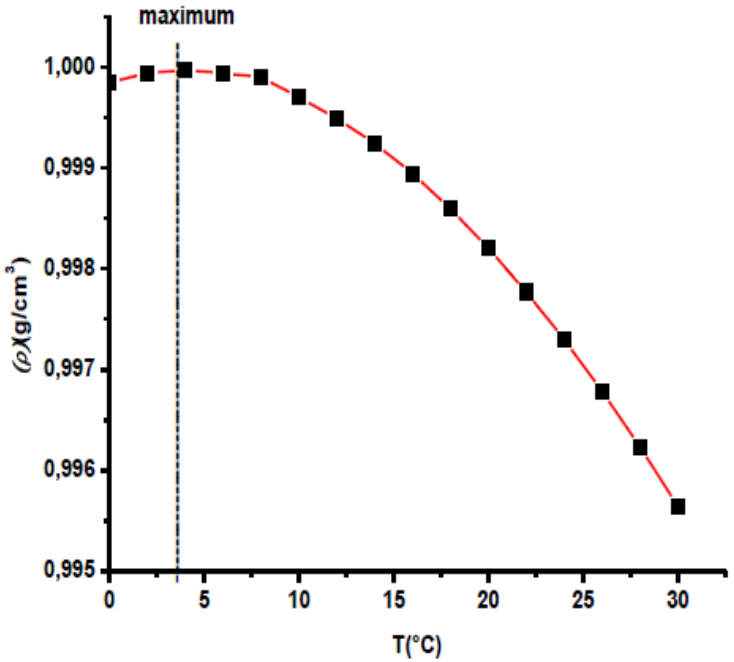


Figure : Variation de masse volumique en fonction de la température.

2.2. Masse volumique

La masse volumique (ρ) de l'eau varie avec la température. Elle augmente de 0 à 4°C, puis décroit. Le maximum est situé à 3,98°C avec $\rho = 0{,}999973 g/mL$

On compare souvent la masse volumique d'un liquide quelconque à celle de l'eau à 4°C, pour laquelle on prend alors la valeur 1000kg/m3. Il est évident que la densité des eaux naturelles varie selon leur contenu en matières dissoutes l'eau de mer a une masse volumique moyenne de 1,028g/mL.

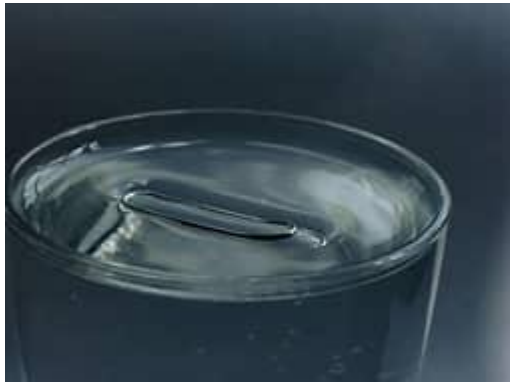
On peut ajouter que ρ de l'eau est aussi en fonction de la pression.

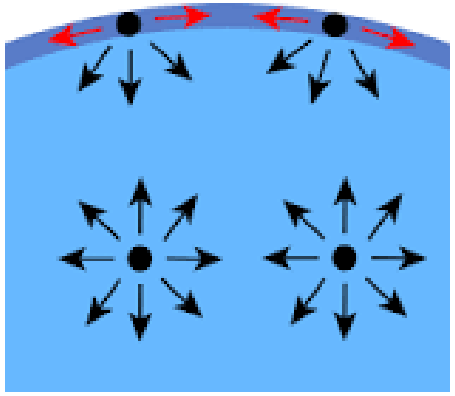
2.3. Tension superficielle

La tension superficielle exprime la force par unité de surface avec laquelle les molécules sont attirées vers l'intérieur du liquide.

Tout comme un ressort étiré a plus d'énergie stockée qu'un ressort non étiré, les molécules de surface ont plus d'énergie que les molécules se trouvant à l'intérieur de l'eau. C'est ce qu'on appelle l'énergie de surface.

La force de cohésion entre les molécules provoque une tension superficielle. $\gamma = F/l$ *(N/m)*





Liquide (interface : liquide – air)	Tension superficielle (N/m)
Eau (20°C)	$72{,}7.10^{-3}$
Glycérol	$63{,}7.\ 10^{-3}$
Benzène	$28{,}9.\ 10^{-3}$
Acétone	$23{,}7.\ 10^{-3}$
Hexane	$18{,}4.\ 10^{-3}$
Ether	$17{,}0.\ 10^{-3}$
Mercure (15°C)	0,487.

Valeur de la tension superficielle de quelques liquides

3. Paramètres Organoleptiques

3.1. Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les microorganismes.

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM(American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = Unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = Unité NTU (Nephelometric Tirbidity Unit).

Comment mesurer la turbidité ?

La turbidité peut être estimée avec des équipements tels qu'un spectrophotomètre et un colorimètre, qui peuvent mesurer la diminution de la lumière transmise due au blocage généré par les particules.

Comment traiter la turbidité ?

Plusieurs techniques physico-chimiques peuvent être utilisées pour l'élimination de la turbidité d'une eau. Par exemple, la turbidité peut être réduite par filtration avec procédé chimique, lente sur sable, à diatomées, sur membrane, ou toute autre technique de filtration ayant fait ses preuves.

3.2. Couleur

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement.

- La coloration d'une eau est dite **réelle** lorsqu'elle est due aux seules substances en solution.
- Elle est dite **apparente** quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration.

3.3. Odeur

L’eau doit inodore mais , on peut sentir des odeurs caractéristiques qui sont celle de chlore, d’œufs pourri et d’hydrocarbures. Ces odeurs sont d’ailleurs en corrélation avec les composées que l’on retrouve avec les contrôles.

Pourquoi mon eau sent les œufs ?

Sulfure d'hydrogène dans l'eau souterraine : le sulfure d'hydrogène est un gaz qui a l'odeur des œufs pourris et qui donne également un goût désagréable à l'eau potable. Il corrode la tuyauterie et produit des odeurs désagréables.

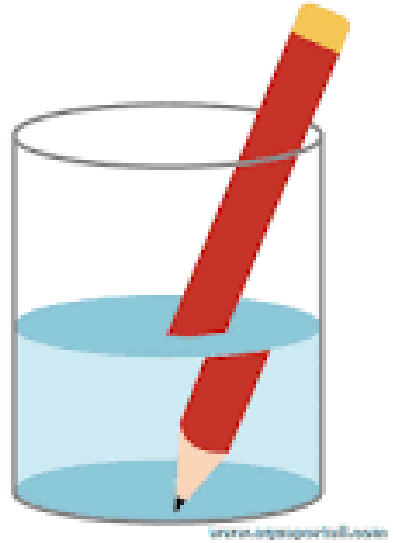
4. Paramètres optiques

5.1. Indice de réfraction

L'indice de réfraction de l'eau est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans l'eau. L'indice de réfraction de l'eau est de 1,333 (à 20 °C). En comparaison, l'indice de réfraction de la glace vaut 1,31.

L’indice de réfraction de l’eau varie, selon la longueur d’onde, entre 1,3 et 1,4. Pour la raie D du sodium, n_D = 1,3330, l’eau absorbe peu les radiations ultraviolettes.

Par contre, dans le visible, l’absorption augmente notablement dans l’orangé, le rouge. L’eau et la vapeur d’eau absorbent fortement les infrarouges, radiations calorifiques particulièrement importantes en limnologie et en écologie aquatique.



5.2. Viscosité

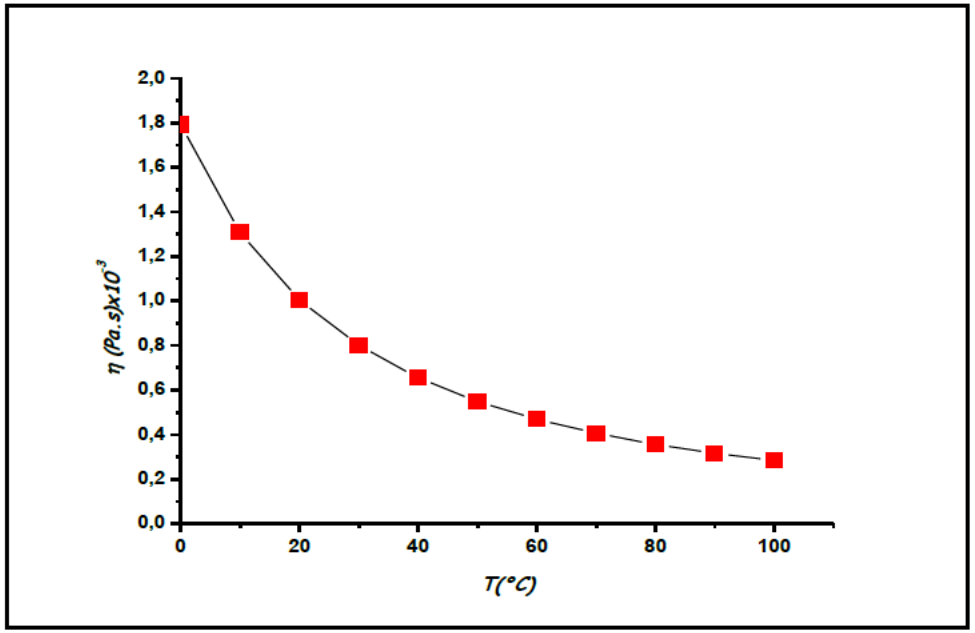
La viscosité des liquides est reliée à leur vitesse de déplacement. Il est bien connu que les liquides s'écoulent à des vitesses différentes: les huiles ont une grande viscosité, alors que l'eau ou le benzène ont une viscosité plus faible. Les gaz présentent aussi une certaine viscosité mais bien inférieure à celle des liquides ordinaires. Ce sont les forces d'attraction intermoléculaires qui rendent plus ou moins difficile le glissement des molécules les unes par rapport aux autres.

Viscosimètre

Liquide	Viscosité	
	Centipoises	Pa.s
Acétone	0,32	$3,20.10^{-4}$
Benzène	0,65	$6,50.10^{-4}$
Eau	1,005	$1,005.10^{-3}$
Ethanol	1,20	$1,20.10^{-3}$
Acide acétique	1,26	$1,26.10^{-3}$
Glycérine	1490	1,49

La viscosité d’un liquide dépend de plusieurs facteurs:

- Nature du liquide
- Température
- Pression



Variation de la viscosité de l’eau avec la température.