

Chapitre I : Propriétés des eaux de consommation

I. L'eau

Introduction

Sur la planète bleue, l'eau est stockée sous quatre formes :

- les glaciers ;
- les océans;
- les eaux terrestres;
- l'atmosphère.

Les différents états de la matière

On peut classer les différentes formes de l'eau en trois catégories :

Tableau I.1 : Les différentes formes d'état de l'eau

État glace	État liquide	État vapeur
Glace	Eau Pluie	Vapeur d'eau
Neige	Le brouillard	
Le givre	La buée	
	Nuage	

La matière se présente sous trois formes, que l'appelle État

Les trois états de la matière sont :

- L'état **liquide**;
- L'état **solide** ;
- L'état **gazeux**

I.1. Le cycle de l'eau

L'eau se trouve sous trois états dans l'environnement : l'état solide (sous forme de glace), l'état liquide et l'état gazeux (sous forme de vapeur d'eau). Elle renferme cette capacité de changer d'état selon la température et la pression auxquelles elle est obéissante.

Le cycle de l'eau comprend les 5 étapes suivantes :

- L'évaporation;
- La condensation;
- Les précipitations;
- Le ruissellement;
- L'infiltration.

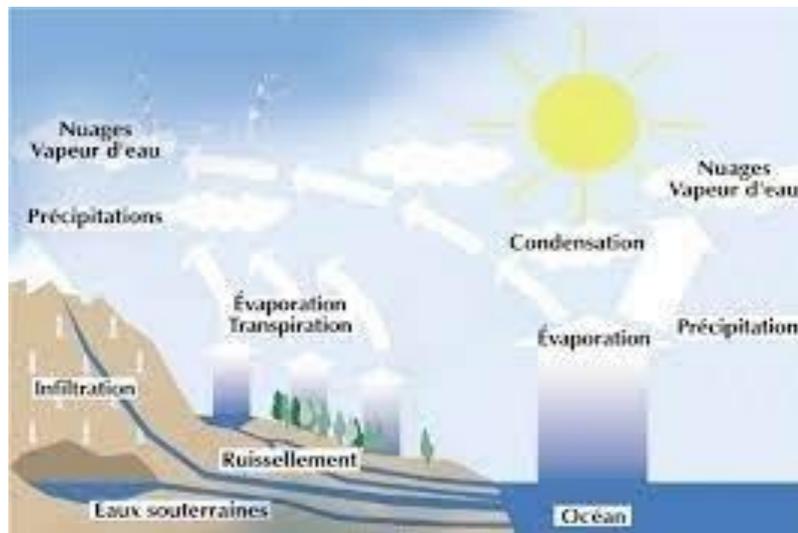


Figure I.1 : Les différentes étapes de cycle de l'eau

I.1.1. Définitions/explications :

1. **Evaporation :** Sous l'effet de la chaleur (le soleil), l'eau se transforme en vapeur d'eau (état gazeux). Cette transformation est une évaporation.
2. **Condensation :** Phénomène au cours duquel la vapeur d'eau se transforme en eau liquide. Lorsqu'il commence à faire de plus en plus froid, la goutte d'eau ne peut plus conserver sa forme de vapeur d'eau (comme du gaz). C'est alors que toutes les gouttes d'eau se transforment en petites gouttelettes très légères.
3. **Précipitation :** Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans les nuages se dépose à la surface de la planète. Ce phénomène se produit grâce à la condensation, les gouttelettes d'eau se collent les unes aux autres et deviennent alors plus lourdes.
 - ❖ **Les précipitations peuvent prendre plusieurs formes :**
 - ✓ Quand les nuages, formés de gouttelettes d'eau condensés, rencontrent de l'air froid, l'eau se liquéfie et retombe donc dans la mer ou sur la terre, on appelle ça la pluie ;
 - ✓ Quand il fait froid, les gouttes d'eau se changent en cristaux de glace : c'est la neige ;
 - ✓ Si le vent est fort, les petits cristaux se collent les uns aux autres, s'alourdissent et tombent sous la forme de petits glaçons, c'est la grêle ;
 - ✓ Quand de très fines gouttelettes flottent dans l'air près du sol, c'est le brouillard.
4. **Le ruissellement :** Sur les sols peu perméables ou déjà gorgés d'eau par les précipitations précédentes dans lesquels l'eau ne peut s'infiltrer, l'eau de pluie ou la neige fondue ruisselle. Elle va alors former des petits cours d'eau qui, en rencontrant d'autres, deviendront des rivières.
5. **L'infiltration :** Lorsque la pluie tombe et qu'elle atteint le sol, une partie de l'eau est directement utilisée par la végétation, une partie s'évapore (voir évaporation), une partie ruisselle sur la surface pour atteindre un cours d'eau et la dernière s'infiltrer dans le sol. L'infiltration dépend directement de la nature du sol et du couvert végétal.

➤ **Ressources destinées à l'alimentation**

- ✓ Eaux superficielles: (Lacs, Fleuves, Rivières...);
- ✓ Eaux souterraines: (Nappes phréatiques, Nappes profondes..);
- ✓ Eaux de pluie;
- ✓ Eaux saumâtres et eaux salées

I.1.2. Les propriétés de l'eau

L'eau est une molécule composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, sa formule chimique est H_2O . Une goutte d'eau de la taille d'une pointe d'épingle contient environ un milliard de milliards de molécules d'eau.

L'eau est par ses propriétés électriques et sa constitution moléculaire, un solvant polaire particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides. L'eau est une substance chimique constituée de molécules H_2O . Ce composé est très stable et néanmoins très réactif et l'eau liquide est aussi un excellent solvant.

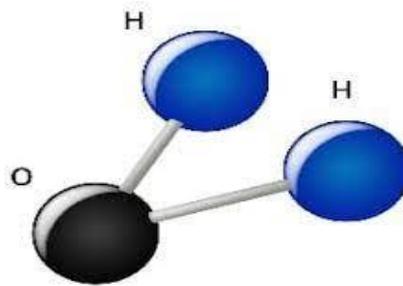


Figure I.2 : Molécule d'eau

Masse volumique : 997 kg/m³

Point d'ébullition : 100 °C

Masse molaire : 18,01528 g/mol

Formule : H₂O

Point de fusion : 0 °C

Moment dipolaire : 1.8546D

Viscosité dynamique : 1,002×10⁻³ Pa·s à 20 °C

Indice de réfraction : 1.33

Eco toxicologie : DL50 > 90 ml .Kg⁻¹

I.2. Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

L'eau ne doit pas présenter :

- I. Une coloration dépassant 15 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt (Shrestha 2018) ;
- II. Une turbidité supérieure à une valeur équivalente à 0.5 NTU (Joël, 2003) ;
- III. D'odeur, de saveur, pour un taux de dilution de 2, à 12 degrés C, et de 3, à 25 degrés C. (Rivillon, 2008).

I.2.1. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux

- a) La température ne doit pas dépasser 25 degrés C.
- b) Le **pH** doit être supérieur ou égal à 6,5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH, cette obligation ne s'applique pas aux eaux conditionnées non minérales.
- c) **Dureté totale (TH) :**

On détermine le Titre hydrotimétrique (total) de l'eau =

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \tag{I.1}$$

Ce TH se mesure par dosage à l'EDTA qui complexe les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Le TH peut être remplacé par la Titre Alcalimétrie complet = TAC qui mesure la concentration des ions HCO_3^- mais aussi la concentration des ions CO_3 .

La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations Ca^{++} et Mg^{++} à l'exception des alcalins (Ledler, 1986).

Tableau I.2: Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale). (Khammar, 2019).

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	15 à 30	>40
Eau	Très douce	Eau douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

- d) **Titre alcalimétrique (TA) :** La teneur en hydroxyde (OH), est la moitié de la teneur en carbonate CO_3^{2-} et un tiers environs des phosphates présents. (Menad et Metadjer, 2012)

TA : permet de mesurer la teneur totale en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates, lorsque ces teneurs sont mesurées en *méq/l* ou °F, ce qui est traduit par la formulation

$$TA = [OH^-] + 1/2 [CO_3 - 2] \quad \text{még/l ou } ^\circ F \tag{I.2}$$

- e) **Titre alcalimétrique complet (TAC) :** Il correspond à la teneur en ions OH, CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieur, à 8.3, la teneur en ions OH- et CO_3^{2-} est négligeable (TA = 0), dans ce cas la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls. (Menad et Metadjer, 2012)

TAC permet de mesurer les teneurs totales en hydroxydes, en carbonates et en Hydrogénocarbonates, en *még/l* ou *°F*, soit :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{még/l ou } ^\circ\text{F} \quad \text{(I.3)}$$

- f) **Magnésium (Mg²⁺)** : Le magnésium est l'élément chimique de numéro atomique 12, de symbole Mg. Le magnésium est un métal alcalino-terreux. La dissolution du MgSO₄ des terrains gypseux du Trias situés au Sud. **(Sahraoui, 2015).**
- g) **Calcium (Ca²⁺)** : Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répondu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure etc. les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières **(Khelili et Lazali , 2015).**
- h) **Conductivité:** Elle se mesure en µS (micro-siemens). Cela nous donne une idée générale sur la salinité et la minéralisation de l'eau.
- i) Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Tableau I.3 : Normes des concentrations des eaux destinées à la consommation humaine **(JORA. 2014)**

Chlorures	200 mg/l (Cl)
Sulfates	250 mg/l (SO ₄)
Magnésium	50 mg/l (Mg)
Sodium..	150 mg/l (Na)
Potassium	12 mg/l (K)
Aluminium total	0,2 mg/l (Al)

À l'exception de eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0,5 mg/l [Al] ne doit pas être dépassée)

- j) La quantité de résidus secs, après dessiccation à 180 degrés C, doit être inférieure ou égale à 1 500 mg/l.

I.2.2. Paramètres concernant des substances indésirables

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Tableau I.4 : Substances indésirable des concentrations destinées à la consommation humaine (JORA. 2014)

Nitrates	50 mg/l (NO ₃)
Nitrites	0,1 mg/l (NO ₂)
Ammonium	0,5 mg/l (NH ₄)
Azote Kjeldahl	1 mg/l (en N)
N de NO ₃ et NO ₂	exclus

- ✓ L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄), mesurée après 10 minutes en milieu acide, à chaud, doit être inférieure ou égale à 5 mg/l en oxygène ;
- ✓ La teneur en hydrogène sulfuré doit être telle que ce composé ne soit pas détectable organo-leptiquement. ;
- ✓ La valeur de la concentration en hydrocarbures dissous ou émulsionnés, après extraction au CCl₄, doit être inférieure à 10 microgrammes par litre ;
- ✓ La teneur en phénols doit être telle que les composés ne soient pas détectables organo-leptiquement après ajout de chlore.
- ✓ En cas de détection, la concentration en phénols, exprimée en indice phénol C₆H₅OH doit être inférieur ou égale à 0,5 µg/l, les phénols naturels ne réagissant pas au chlore étant exclus.

Pour les substances suivantes, les valeurs de concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après:

Tableau I.5 : Métaux de contaminations destinées à la consommation humaine (JORA. 2014)

Agents de surface réagissant au bleu de méthylène	200 µg/l (sulfate)
Fer	200 µg/l(Fe)
Manganèse	50µg/l(Mn)
Cuivre	1mg/l(Cu)
Zinc	5mg/l(Zn)
Phosphore	5 mg/l(P ₂ O ₅)
Argent	10 µg/l(Ag)

- ✓ La teneur en fluor doit être inférieure à 1 500 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 8 degrés C et 12 degrés C et à 700 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 25 et 30 degrés C. Pour les températures moyennes comprises entre 12 et 25 degrés C, la teneur limite en fluor est calculée par interpolation linéaire.

I.2.3. Paramètres concernant des substances toxiques

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées :

Tableau I.6 : Substances toxiques (JORA. 2014)

Arsenic	50µg/l (As)
Cadmium	5 µg/l (Cd)
Cyanures	50 µg/l (CN)
Chrome total	50 µg/l (Cr)
Mercure	1 µg/l (Hg)
Nickel	50 µg/l (Ni)
Plomb	50 µg/l (Pb)
Antimoine	10 µg/l (Sb)
Sélénium	10 µg/l (Se)

Hydrocarbures polycycliques aromatiques :

Pour le total des 6 substances suivantes 0,2 µg/l

- Fluoranthène ;
- Benzo (3,4) fluoranthène;
- Benzo (11,12) fluoranthène;
- Benzo (3,4) pyrène;
- Benzo (1,12) pérylène ;
- Indéno (1,3) pyrène;
- Benzo(3,4) pyrène 0,01 µg/l.

I.2.4. Paramètres microbiologiques

- a) L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 ml d'eau prélevée, de " bactériophages fécaux dans 50 ml d'eau prélevée " et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée (HAMED, N. 2018).
- b) au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes dans 100 millilitres d'eau.
- c) L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermo tolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.
- d) L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfite-réductrices par 20 ml d'eau prélevée.
- e) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables, à 37 degrés C et après vingt-quatre heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée, à 22 degrés Celsius et après soixante-douze heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse est commencée dans les douze heures suivant le conditionnement.
- f) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, l'eau ne doit pas contenir de *Pseudomonas aeruginosa* dans 100 ml.

I.2.5. Pesticides et produits apparentés

Pour les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T.(Abegunrin, 2016) les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

✚ Par substance individualisée : 0,1 µg/l, à l'exception des substances suivantes :

- a) Aldrine et dieldrine : 0,03 µg/l ;
- b) Heptachlore et époxyde d'heptachlore : 0,03 µg/l.
- c) Pour le total des substances mesurées : 0,5 µg/l.

I.2.6. Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine

Les eaux adoucies livrées à la consommation humaine doivent satisfaire, en outre, aux exigences suivantes :

- La dureté totale ne doit pas être inférieure à 15 degrés français.
- L'alcalinité ne doit pas être inférieure à 2,5 degrés français.

I.3. Usages de l'eau et leur exigence

L'eau est nécessaire pour de nombreux usages qui dépendent de sa quantité et sa qualité. Mais certains usages peuvent avoir un impact sur la ressource et compromettre à la fois le bon fonctionnement du milieu naturel et les autres usages qui en dépendent

- ✓ Les usages de l'eau et du réseau hydrographique peuvent se classer selon leur nature :
Prélèvements : qui consomment de l'eau sans restitution directe au lieu de prélèvement.
- ✓ Altérations : qui modifient les paramètres physico-chimiques et bactériens de l'eau.
- ✓ Les autres usages qui utilisent l'eau à des fins énergétiques, de transport ou encore récréatives.

I.3. 1.L'usage agricole

L'irrigation des cultures représente 70% de l'ensemble des usages agricoles de l'eau AESN (Agence de l'Eau Seine Normandie). Ainsi, il faut environ :

- ✓ 1500 l d'eau pour produire 1 kg de blé ;
- ✓ 4500 l d'eau pour produire 1 kg de riz .

I.3. 2.Les usages domestiques

Chaque habitant consomme en moyenne de 150 à 200 litres d'eau par jour dont 93% pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et les tâches ménagères. La consommation alimentaire représente 2 litres / jour / habitant.

Ainsi on consomme pour :

- ✓ Se doucher = 60 à 80 l d'eau ;
- ✓ Tirer la chasse d'eau des toilettes = 6 à 10 l d'eau ;
- ✓ Laver une voiture = 100 à 200 l d'eau - Faire la vaisselle = 15 l d'eau.

I.3. 3.Les usages industriels

Les usages industriels (agro-alimentaire, fabrication de produits...) sont gros consommateurs d'eau. Ainsi pour fabriquer il faut :

- ✓ 1 automobile = environ 10 000 l d'eau ;

Polycopié de cours épuration des eaux usées

- ✓ 1 litre de bière = environ 5 l d'eau ;
- ✓ 1 kg de papier = environ 20 l d'eau .

I.3. 4 .Les usages énergétiques

Les centrales électriques transforment l'énergie calorifique (combustion de combustibles fossiles : gaz, fioul, charbon ou fission atomique) en énergie mécanique (machine à vapeur) puis en énergie électrique. Le cycle de l'eau dans une centrale comprend un pompage en eau superficielle (rivière), l'injection dans un circuit de refroidissement, puis le rejet dans le milieu (rivière) ou l'évaporation. Selon la puissance de la centrale, l'eau évaporée peut se compter en m³/s.

I.4.Traitement de l'eau brute pour le rendre potable

Protéger la santé à partir des recommandations émises par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), des réglementations nationales et internationales ont été mises en place afin d'éviter la présence de micro-organismes et de substances chimiques indésirables dans l'eau potable (Joanne E. 2012).

❖ Les étapes de la production d'eau potable

L'eau brute subit donc plusieurs traitements pour la production d'eau potable :

- 1) **Dégrillage et tamisage** : L'eau est d'abord filtrée à travers une grille afin d'arrêter les plus gros déchets, puis elle passe dans des tamis à mailles fines retenant des déchets plus petits.
- 2) **Clarification** : elle permet de rendre l'eau limpide en la débarrassant des petites matières en suspension qu'elle contient.
- 3) **Floculation/coagulation et décantation** : Un produit chimique (chlorure de fer ou sulfate d'aluminium) est ajouté à l'eau qui provoque le regroupement (agglomération) des particules encore présentes (poussières, particules de terre, etc.). en flocons. Ceux-ci s'agglomèrent et se déposent au fond du bassin par décantation. 90 % des matières en suspension (MES) sont ainsi éliminées.
- 4) **Filtration** : Pour éliminer les 10 % de MES restantes, l'eau traverse un filtre, lit de sable fin et/ou un filtre à charbon actif. La filtration sur sable élimine les matières encore visibles à l'œil nu. Les filtres à charbon actif retiennent en plus les micro-polluants, comme les pesticides et leurs sous produits, les composés à l'origine des goûts et des odeurs (cette filtration peut avoir lieu après la désinfection également car ils retiennent également des sous-produits de désinfection) Il existe des procédés de

Polycopié de cours épuration des eaux usées

filtration encore plus poussés comme la filtration sur membranes (Asma Ben Rajeb, 2013).

5) **Désinfection** : Elle élimine tous les micro-organismes qui pourraient être dangereux pour notre santé. Elle s'applique sous deux formes :

- **Ozonation** : L'eau est désinfectée grâce à l'ozone, qui a une action bactéricide et antiviral. Ce gaz, mélangé à l'eau, agit aussi sur les matières organiques en les cassant en morceaux. Il améliore également la couleur et la saveur de l'eau.
- **Chloration** : Du chlore est ajouté à la sortie de l'usine de production et sur différents points du réseau de distribution afin d'éviter le développement de bactéries et de maintenir la qualité de l'eau tout au long de son parcours dans les canalisations.

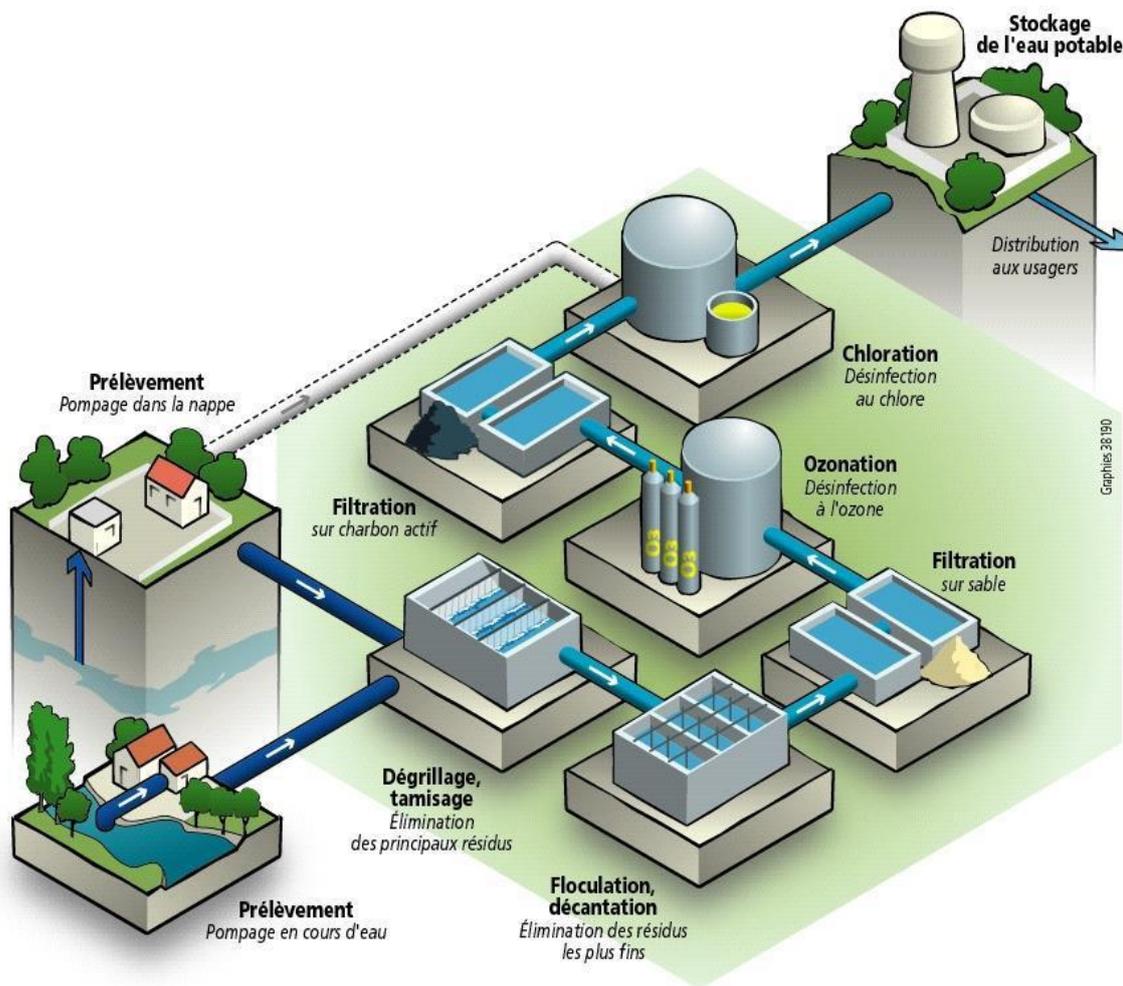


Figure I.3 : Station de traitement de l'eau potable