



Chapitre 2

Eau (hydrosphère)



2.1. Les ressources en eaux :

L'hydrosphère (du grec hydro : eau ; sphaira : boule, globe) est l'enveloppe aqueuse de la Terre. La réserve totale d'eau sur Terre est de 1409.10^6 km^3 . Sur la Terre, l'eau existe dans les trois états : liquide, solide et gazeux, ce qui est dû aux conditions particulières de température et de pression qui règnent à sa surface. Elle recouvre 70 % de la surface de la Terre. Sur le volume d'eau présent sur Terre : Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km^3 . 69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.). La plus petite quantité d'eau se trouve dans l'atmosphère essentiellement dans la basse troposphère ; il s'agit d'une petite quantité d'eau sous forme gazeuse mais ayant une fonction importante vis-à-vis du cycle de l'eau. La **Figure 2.1** ci-après récapitule cette répartition.

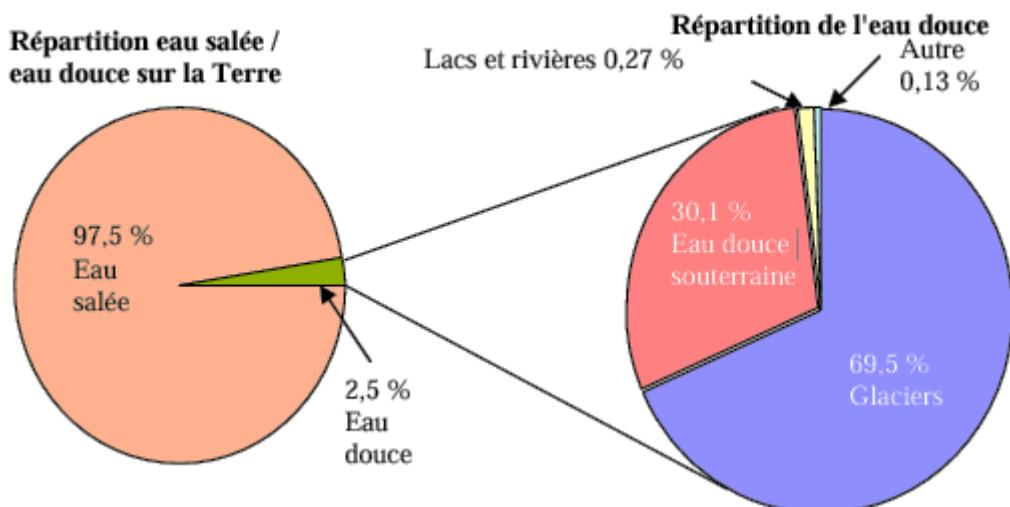


Figure 2.1 : Répartition eau salée/eau douce sur Terre.

Dans le **Tableau 2.1**, sont reportées les valeurs des volumes d'eau et leur répartition par rapport aux différents réservoirs.

Tableau 2.1 : La réserve en eau de la terre.

Domaine de l'hydroosphère	Volume de l'eau (en 10^6 km^3)
Les mers	1370
La glace et la neige (pole entre autre)	29
Les nappes phréatiques	9,5
Eaux de surface (lacs et fleuves)	0,13
Atmosphères	0,013
Biosphère	0,0006

2.2. Importance de l'eau :

L'eau revêt de nombreux aspects importants dans la vie des hommes.

- ✓ Elle est nécessaire à la vie et constitue un moyen de nettoyage. Dans l'industrie l'eau a de multiples fonctions, par exemple celle de fluide de refroidissement et de substance primaire (dans le domaine de la production) ou de solvant et de milieu réactionnel (par exemple dans l'industrie chimique).
- ✓ L'eau est utilisée comme moyen d'alimentation et d'évacuation (par exemple des substances polluantes sont transportées jusqu'à la mer par les cours d'eau), ainsi que pour la circulation et le transport.
- ✓ L'eau exerce une influence fondamentale sur le climat : c'est un régulateur de chaleur important pour l'atmosphère, car elle吸 absorbe le rayonnement provenant du sol (terrestre).

2.3. Les eaux naturelles :

Les **eaux naturelles** sont toutes les eaux présentes dans l'environnement qui n'ont pas été modifiées de manière significative par les activités humaines. Elles se distinguent des eaux "artificielles" ou "traitées" comme l'eau du robinet ou l'eau purifiée industriellement.

Les eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltrations, nappes), des eaux de surface retenues ou écoulement (barrage, lacs, rivières) et des eaux de mer.

2.3.1. Eaux souterraines :

De point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

2.3.1.1. Nappes phréatiques ou alluviales : Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

2.3.1.2. Nappes captives : Plus profondes que les premiers et séparées de la surface par une couche imperméables, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (**Fig. 2.2**).

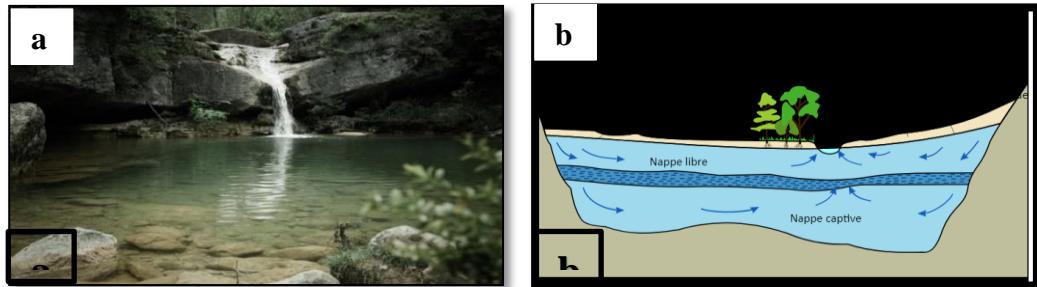


Figure 2.2 : Les eaux souterraines : a) nappes phréatique ; b) nappes captive.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites **eaux minérales**.

2.3.2. Eaux de surface :

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement.

2.3.3. Eaux des mers et océans :

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97,5 % du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées

par une grande salinité (**Tableau 2.2**), elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement.

Tableau 2.2 : Salinité des eaux de quelques océans et mers.

Mer ou Océan	Concentration (mg/l)
Mer rouge	43000
Golfe arabique	43000
Mer méditerranée	39400
Océan atlantique	36000
Océan indien	33800
Océan pacifique	33000
Mer adriatique	25000
Mer noire	13000
Mer baltique	7000

2.4. Cycle de l'eau :

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol.

L'eau circule sans arrêt sur la terre. Elle s'évapore des océans et y revient sous forme de pluie. Le soleil fait s'évaporer l'eau des rivières, des lacs, des mers, des océans en de fines gouttelettes. En se regroupant, elles forment des nuages qui, poussés par le vent, rencontrent des masses d'air froid et donnent naissance à la pluie. L'eau de pluie s'infiltra dans le sol et rejoint les nappes phréatiques, les sources, les rivières, les fleuves, pour recommencer sans fin le même voyage.

Dans la nature, l'eau suit toujours le même parcours en formant une sorte de boucle. C'est ce que l'on appelle le cycle naturel de l'eau (**Fig. 2.3**). Ce parcours se compose de 4 étapes principales : évaporation, condensation, précipitations, et ruissellement.

2.4.1. L'évaporation et la transpiration des végétaux :

Les rayons du soleil réchauffent l'eau des rivières, des fleuves, des lacs, des mers et des océans et le fait passer de l'état liquide à l'état de vapeur d'eau (gazeux) : c'est l'évaporation. Les plantes et les autres espèces végétales puisent l'eau dans le sol et la rejettent sous la forme de vapeur d'eau. Environ 10% des précipitations tombant sur la terre proviennent de la transpiration des végétaux, le reste est en conséquence dû à l'évaporation. La transpiration des plantes et l'évaporation due à l'humidité dans le sol libèrent de la vapeur

d'eau qui s'élève dans l'atmosphère sous la forme de nuages. L'action du vent déplace les nuages au-dessus des terres. Cela va donner lieu aux étapes suivantes :

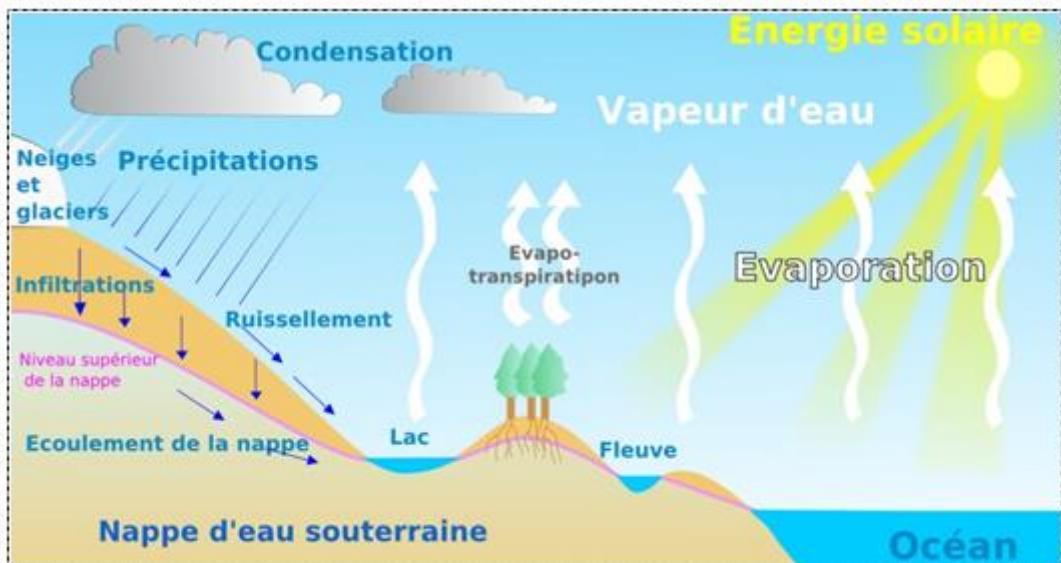


Figure 2.3 : Cycle de l'eau.

2.4.2. La condensation :

Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en petites gouttelettes qui sont à l'origine de la formation des nuages, qui sous l'action des vents, vont se diriger vers l'intérieur des terres.

2.4.3. Les précipitations :

Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et, sous l'effet de la gravité, l'eau retombe sur le sol sous forme de pluie, de neige ou de grêle (à l'état liquide ou solide).

2.4.4. Le ruissellement ou l'infiltration :

L'eau qui n'est pas absorbée par le sol, ruisselle le long des pentes jusqu'à se déverser dans les rivières, les fleuves et les lacs. Elle sera ensuite transportée jusqu'aux mers et océans, ce sont les « cours d'eau de drainage ». L'eau de pluie s'écoule lorsqu'elle rencontre un sol imperméable et pénètre dans les sols perméables. En s'infiltrant dans un sol perméable, l'eau peut parfois remplir une poche souterraine (grotte) et former un véritable réservoir d'eau. L'eau contenue dans ce réservoir (nappe d'eau ou nappe phréatique) trouve parfois un chemin naturel vers l'extérieur

2.5. Compositions chimique de l'eau :

À l'état naturel, la composition chimique d'une eau est entièrement dictée par les milieux qu'elle traverse (atmosphère, biosphère, sols et roches). Cette composition évolue radicalement tout au long de son cycle. Ainsi, les précipitations, très faiblement minéralisées (de l'ordre du $\mu\text{g/L}$ à mg/L), contiennent principalement des ions sodium (Na^+), chlorure (Cl^-) et sulfate (SO_4^{2-}). En revanche, après interaction avec les sols et les roches, les eaux continentales (rivières et nappes souterraines) voient leur minéralisation s'élever notablement (de 10 à 10^2 mg/L) et leur composition devenir dominée par les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et bicarbonate (HCO_3^-).

Les eaux d'origine fluviale, une fois déversées dans les océans, voient leur concentration augmenter par évaporation. La teneur en sels dissous des océans atteint 35 g/L et leur composition est chlorurée-sodique (87 % de NaCl), car les minéraux les moins solubles, comme les carbonates précipitent. Il reste alors en solution dans l'eau de mer les minéraux les plus solubles, comme le sel NaCl (**Tableau 2.3**).

Tableau 2.3 : Moyennes mondiales (mg/L) des concentrations des eaux de pluies et de rivières et des marines en éléments majeurs.

	SiO_2	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	CID	COD
Précipitations atmosphériques	0,3	0,31	0,26	1,46	0,135	2,6	1,37	0,20	1,93
Fleuves et rivières	10,4	13,5	3,6	7,4	1,35	9,6	8,7	10,2	5,37
Océans	4,24	400	1336	11500	390	19775	2784	25,1	0,94

SiO_2 : silice dissoute, Ca^{2+} : calcium, Mg^{2+} : magnésium, Na^+ : sodium, K^+ : potassium, Cl^- : chlorures, SO_4^{2-} : sulfates, CID : carbone inorganique dissous, COD : carbone organique dissous

2.6. Normes et qualité de l'eau :

2.6.1. Qualité de l'eau :

L'étude des eaux a pour objet de déterminer leurs possibilités d'utilisation. Elle comporte une analyse physico-chimique et un examen bactériologique. Grâce à ces analyses, on détermine les limites d'utilisation d'une eau soit :

- à usage domestique ;

- à usage industriel (réfrigération, fabrication).

L'analyse physico-chimique de l'eau permet d'identifier les eaux susceptibles d'être agressives pour les canalisations et de déterminer les traitements de potabilisation nécessaires.

L'examen bactériologique permet de déterminer la qualité microbiologique de l'eau, notamment en vue de son emploi comme eau potable.

2.6.1.1. Caractéristiques organoleptiques :

Les paramètres organoleptiques (couleur, saveur et odeur) constituent souvent les premiers signaux d'alerte d'une pollution pouvant présenter un risque pour la santé. Pour être de bonne qualité organoleptique, l'eau doit donc être agréable à boire : claire, fraîche et inodore.

A. Couleur : Pour l'eau potable, la couleur maximale acceptable est de 15 mg Pt/L. Cette coloration peut provenir d'impuretés minérales (comme le fer) ou de matières organiques (acides humiques ou fulviques).

B. Odeur : Une odeur anormale est un indicateur sensoriel de pollution, souvent liée à la décomposition de matières organiques ou à la présence de composés chimiques spécifiques. Ce paramètre organoleptique est particulièrement sensible, car il peut révéler la présence de certaines substances à des niveaux inférieurs aux seuils de détection des analyses standards.

C. Goût et saveur : Pour l'eau de consommation, le goût désigne l'impression sensorielle globale, qui doit être agréable. Cette impression naît notamment des saveurs fondamentales perçues par la langue (salé, sucré, acide, amer), elles-mêmes induites par les sels et les gaz dissous dans l'eau.

Turbidité :

C'est un paramètre qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes,...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. La turbidité d'une eau est l'inverse de sa transparence ; L'eau de boisson ne doit présenter une turbidité supérieure à 5NTU (**Tableau 2.5**).

Tableau 2.5 : Classification des eaux en fonction de leur turbidité.

Turbidité (NTU)	Qualité de l'eau
< 5	Eau claire
5 < Turbidité < 30	Eau légèrement trouble
Turbidité > 50	Eau trouble
Turbidité > 200	eau de surface "Africaine"

2.6.1.2. Les caractéristiques physicochimiques :

A. Température :

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. L'eau potable doit être désaltérante et sa température doit situer entre 8 et 15°C.

B. pH (potentiel d'hydrogène) :

Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Le pH est indissociable de la température, de l'oxygène dissous et de la minéralisation totale.

pH < 7 : eau acide

pH > 7 : eau alcaline

Le pH des eaux naturelles peut varier de 6,5 à 8,5 selon leur origine, la nature géologique des terrains traversés, mais aussi le niveau de pollution (**Tableau 2.4**).

Tableau 2.4 : Classification des eaux d'après leur pH

pH < 5	Acidité forte → présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée → majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

C. Oxygène dissous : L'oxygène dissous (OD), exprimé en mg/L, est une grandeur fondamentale pour l'écologie des milieux aquatiques, car il est essentiel à la respiration des organismes hétérotrophes. Il provient principalement des échanges avec l'atmosphère et de la photosynthèse des plantes et algues aquatiques. Sa concentration dans l'eau est limitée par sa solubilité (environ 9 mg/L à 20°C) et dépend de facteurs tels que la température, la salinité et la pression atmosphérique.

Une eau de bonne qualité présente généralement une teneur comprise entre **4 et 6 mg/L**. Lorsque cette teneur chute à un niveau critique de 1 à 2 mg/L, elle révèle une pollution organique sévère où la consommation d'oxygène par la décomposition excède les apports ; cet état critique n'est pas irréversible si la source de pollution est traitée.

En deçà de 1 mg/L, le milieu devient anoxique (anaérobiose) : la vie aérobie disparaît, laissant place à des micro-organismes qui produisent des gaz comme le méthane (CH₄) ou le sulfure d'hydrogène (H₂S) lors de la décomposition de la matière organique.

D. Dioxyde de carbone dissout (ppm):

- Un surplus de dioxyde de carbone dissout dans l'eau peut augmenter l'acidité du cours d'eau en sa transformation en acide carbonique.

E. Conductivité électrique :

La conductivité est exprimée en micro-Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et varie proportionnellement avec la minéralisation. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (sels dissous dans l'eau) (**Tableau 2.6**).

Tableau 2.6 : Classification des eaux en fonction de leur conductivité électrique.

Nature de l'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eau très pure	Inférieure à 50
Eau douce peu minéralisée	100 à 200
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500
Eau très minéralisée	1000 à 2500

F. Le taux de sels dissous (TDS):

Le TDS mesure la somme des solides dissous dans un volume donné d'eau. La mesure du TDS est généralement exprimée en parties par million (ppm), indiquant le nombre de particules dissoutes présentes dans un million de particules d'eau. Ces solides, invisibles à l'œil nu, peuvent provenir de diverses sources telles que les minéraux naturels, les sels, les métaux lourds, les engrains chimiques ou les polluants industriels. Une concentration élevée de TDS peut affecter le goût, l'odeur et la qualité générale de l'eau. Le tableau 2.7 représente la salinité de différents types d'eau.

Tableau 2.7 : Classification des eaux en fonction de leur salinité.

Type d'eau	Partie par million de sels dissous
Eau douce	< 1000
Eau légèrement salée	1000 – 3000
Eau modérément salée	3000 – 10000
Eau très salée	10000 – 35000
Eau de mer	~ 35000

G. Dureté totale :

La dureté de l'eau (ou titre hydrotimétrique) TH, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} . La dureté s'exprime en

Chapitre 2

°TH (degré hydrotimétrique) également appelé degré français (symbole :°F) en France. 1 degré français correspond à 4 milligrammes de Ca^{2+} et à 2,4 milligrammes de Mg^{2+} et 10 mg de CaCO_3 par litre d'eau.

Les valeurs de TH de différentes eaux sont regroupées dans le tableau 2.8.

Tableau 2.8 : Plage de valeurs pour le titre hydrotimétrique.

TH (°F)	0 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 30	30 et plus
Eau	Très douce	douce	Modérément douce	dure	Très dure

H. L'alcalinité:

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes.

Le titre alcalimétrique (**TA**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (**TAC**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

I. Calcium :

Le calcium, est un métal alcalino-terreux très abondant dans la nature, notamment sous forme de carbonates dans les roches calcaires. Il est le principal composant de la dureté de l'eau et constitue généralement l'élément minéral dominant dans les eaux destinées à la consommation.

J. Magnésium :

Le magnésium est un élément indispensable à la croissance, servant à la fois de composant structurel (élément plastique) dans la formation des os et de régulateur actif (élément dynamique) au cœur des systèmes enzymatiques et hormonaux.

K. Sodium :

L'absorption de quantités relativement importantes de sodium ne présente pas de risque, sauf pour les personnes souffrant d'hypertension.

L. Sulfates:

À fortes concentrations, les sulfates (SO_4^{2-}) peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux, notamment chez les enfants, et donner à l'eau un goût désagréable.

M. Chlorures:

Les chlorures sont présents dans toutes les eaux à des concentrations variables, pouvant provenir d'activités humaines ou industrielles. Un excès de chlorures dans l'eau potable la rend corrosive pour les réseaux de distribution et peut être nocif pour les plantes.

N. Nitrate :

Les nitrates (NO_3^-), que l'on trouve dans les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines, résultent de la décomposition naturelle de matières organiques azotées, telles que les protéines animales ou végétales et les déjections animales, par l'action de micro-organismes.

O. Nitrites :

Les nitrites (NO_2^-) proviennent principalement soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit de la réduction des nitrates.

P. Phosphates:

Les phosphates présents dans les eaux de surface ou les nappes phréatiques peuvent avoir une origine naturelle, comme la décomposition de la matière organique, mais aussi provenir de rejets industriels (notamment agroalimentaires), domestiques (phosphates des détergents) ou agricoles (engrais et pesticides). Dans les eaux naturelles potables, les phosphates ne sont généralement présents qu'à l'état de traces en conditions anaérobies (absence d'oxygène).

Q. Fer :

Le fer présent dans l'eau peut provenir des terrains traversés ou de pollutions industrielles. Dans les réseaux de distribution, il résulte le plus souvent de la corrosion des canalisations. Son excès altère les qualités organoleptiques de l'eau (goût métallique, coloration).

R. La demande chimique en oxygène DCO :

La demande chimique en oxygène est un paramètre indicateur de pollution. Elle correspond à la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures). On exprime la DCO par la quantité d'oxygène fournie par le bichromate de potassium en milieu acide et en présence

de sulfate de mercure nécessaire à l'oxydation des substances organiques totales présentes dans l'eau.

S. La demande biochimique en oxygène DBO₅ :

La DBO₅ ou Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours, représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. La mesure de la DBO₅ est très utilisée pour surveiller les rejets et le fonctionnement des stations d'épuration. (Elle est trop peu précise pour qualifier les eaux naturelles –Tableau 2.8)).

Tableau 2.8 : Qualité de l'eau en fonction de la DBO₅

DBO ₅ (mg/L d'O ₂)	Qualité de l'eau
< 1	Excellent qualité
2	Bonne qualité
3	Qualité moyenne
5	Eau moyennement polluée
> 10	Eau polluée

2.6.1.3. Caractéristiques bactériologiques :

L'analyse biologique complémentaire de l'analyse chimique, fait apparaître différentes espèces de micro-organismes tels que les bactéries, les virus les planctons et les champignons. On distingue deux types de micro-organismes :

- Ceux qui sont pathogènes et provoquent des maladies ;
- Ceux qui sont saprophytes c.à.d. qui n'ont pas un effet sur la santé de l'être humain.

Rien n'est plus important que la qualité microbiologique d'une eau, car toutes sortes de maladies (fièvres, typhoïde, choléra, maladie entérovirale gastro-intestinales...), peuvent être transmises par l'eau. D'une façon idéale l'eau potable ne devra contenir aucun micro-organisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution fécale.

2.6.2. Normes de qualité des eaux :

Une norme de qualité pour l'eau potable est établie en fixant une Concentration Maximale Admissible (CMA) pour chaque polluant. Ces valeurs limites ne sont pas arbitraires; elles sont scientifiquement dérivées, principalement sur la base des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'OMS détermine, grâce à des études médicales et toxicologiques, la dose quotidienne d'une substance qu'un individu peut ingérer sans risque pour sa santé tout au long de sa vie. La CMA traduit cette dose

sécuritaire en une concentration maximale dans l'eau. L'eau potable doit répondre à des critères stricts de pureté. Elle doit être :

- Exempte de matières en suspension (pour être claire et limpide).
- Exempte de micro-organismes pathogènes (pour éviter les risques microbiologiques).
- Exempte de produits chimiques toxiques (pour prévenir les intoxications à long terme).

Il existe plusieurs normes telles que les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS), les normes européennes, les normes algériennes ...ect).

Réglementation Algérienne:

La réglementation algérienne en matière d'eau potable, notamment définie par un texte cadre publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), établit des normes de qualité contraignantes en fixant des valeurs limites pour des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. L'objectif fondamental de ce cadre réglementaire est de garantir la santé publique en établissant une relation scientifique directe entre la qualité de l'eau consommée et l'état de santé de la population, ce qui permet de déterminer des seuils sanitaires.

Tableau 2.9 : Normes Algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable JORA (2014).

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/L platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Température	°C	25
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800
	Alcalinité	mg/L CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/L	200
	Chlorure	mg/L	500
	Concentration en ions hydrogène	pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Dureté (TH)	mg/L CaCO ₃	500
	Fer total	mg/L	0,3
	Manganèse	mg/L	50
	Phosphore	mg/L	5
	Potassium	mg/L	12
	Sodium	mg/L	200
	Sulfates	mg/L	400

2.7. Analyse de l'eau :

Les études de qualité des eaux naturelles comportent trois étapes (**Fig. 2.4**):

- L'échantillonnage ;
- L'analyse ;
- L'interprétation.

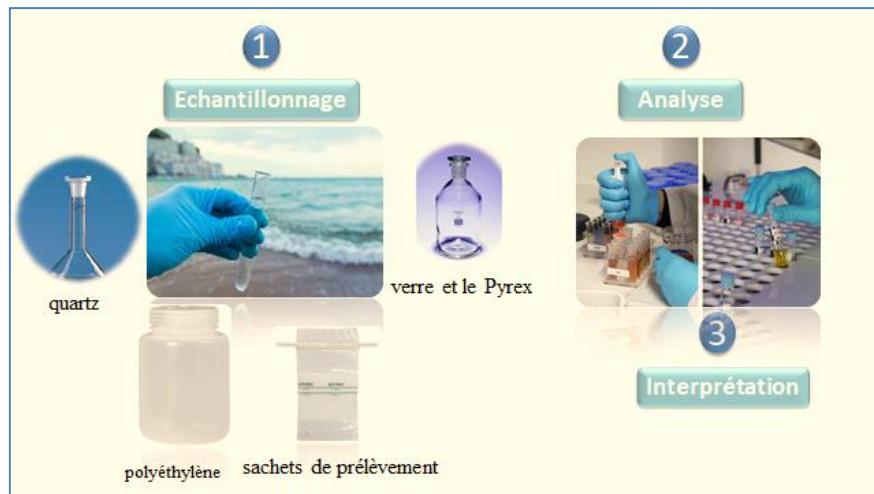


Figure 2.4 : Les étapes de l'analyse de l'eau.

2.7.1. L'échantillonnage :

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser. Les échantillons d'eau fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

La nature du matériau du récipient de prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser. En effet, il faut éviter que des éléments chimiques constituant le flacon ne passent en solution, ou, à l'inverse, que certains ions présents dans l'eau ne se fixent sur les parois du récipient.

Cependant, le matériel idéal n'existe pas et l'emploi de tel produit plutôt que tel autre dépend de la nature des éléments à doser :

- ❖ **Le quartz** est le matériau le plus adapté pour la bonne conservation des échantillons mais s'avère très fragile.
- ❖ **Le verre ou le pyrex** peuvent être employés sans problème pour le dosage des ions majeurs. Cependant des oligo-éléments peuvent passer en solution dans l'eau (silice pour le verre et le bore pour le pyrex).
- ❖ **Le polyéthylène** est souvent recommandé pour tout échantillonnage, surtout pour les prélèvements en vue de mesures d'éléments radioactifs. Relativement poreux vis-à-vis des

gaz, on lui préfère cependant le verre pour le prélèvement et la conservation des échantillons fortement chargés en gaz (la diffusion est lente).

- ❖ **Les sachets du chlorure de polyvinyle** présentent l'avantage de ne servir qu'une seule fois, mais ils ont l'inconvénient de libérer du chlore si ces sachets restent trop longtemps exposés à la lumière.

Informations de base sur l'eau à analyser :

1. Identité du préleveur.
2. Date et heure du prélèvement.
3. Particulier ou autorité demandant l'analyse.
4. Motif de la demande (analyse initiale, contrôle périodique, pollution intoxication, épidémie...).
5. Usage de l'eau (boisson, lavage, abreuvement, industrie...).
6. Ville ou établissement que l'eau alimente.
7. Nom du point d'eau et localisation précise.
8. Origine de l'eau (source, puit, forage, rivière...).
9. Température de l'eau et celle de l'atmosphère (conditions météorologiques).
10. Débit approximatif (litre/minute).
11. Nature géologique des terrains traversés.

2.7.2. Méthodes d'analyse :

La température, le pH, la conductivité, l'alcalinité et d'oxygène dissous doivent être mesurés *in situ*. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site. L'idéal est d'effectuer les mesures en continu (sauf l'alcalinité qui se mesure par titration), en plein courant s'il s'agit d'une rivière, ou dans un seau placé au refoulement de la pompe s'il s'agit d'eau souterraine. Il faut veiller à ne pas aérer l'eau (risque de précipitation d'éléments en solution, oxygénéation....).

2.7.3. Interprétation des résultats :

Les unités de mesure diffèrent souvent d'un type d'analyse à l'autre et aussi d'un fournisseur ou d'un distributeur à l'autre, entretenant ainsi la confusion.

Unités :

- ❖ **Milligramme par litre :** Le milligramme par litre est l'unité de mesure standard, utilisée par exemple dans les laboratoires d'analyse d'eau potable.

❖ Partie par million

- 1 ppm (partie par million) = 1mg/L.

❖ **Degré Français :** Un degré français correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/L de carbonate de calcium (CaCO_3) qui correspond également à une solution contenant 0,0001 mol/L de CaCO_3 (puisque la masse molaire de CaCO_3 vaut 100,1 g/mol).

Un degré français équivaut donc à :

- ✓ 4 mg de calcium (et 6 mg de carbonate) par litre soit 0,0001 mol/L de calcium (de masse molaire 40,1 g/mol).
- ✓ 2,4 mg de magnésium par litre soit 0,0001 mol/L de magnésium (de masse molaire 24,3 g/mol).
- ✓ $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/L de } \text{CaCO}_3$ (problème du tartre à analyser) or $10 \text{ mg/L } \text{CaCO}_3 = 0,2 \text{ meq/L}$

$$1^{\circ}\text{F} = 0,2 \text{ meq/L ou } 1 \text{ meq/L} = 5^{\circ}\text{F}$$

2.8. Pollution de l'eau :

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels.

2.8.1. Les sources de pollutions des eaux :

Les sources de ces pollutions sont très diverses. Il peut s'agir de :

- ✓ **Rejets ponctuels** des stations d'épuration (STEP) ou des industries (acides, phénols, cyanures, détergents, hydrocarbures),
- ✓ **Rejets diffus** de polluants dus à l'agriculture intensive (engrais, biocides, produits phytosanitaires), de décharges sauvages, etc. Les pollutions les plus importantes des eaux sont souvent des conséquences directes et locales des activités agricoles ou industrielles.

2.8.2. Origines de pollutions des eaux :

Les 3 principales origines de pollution sont :

- ✓ **Les rejets urbains:** résultant de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des activités domestiques, artisanales et tertiaires ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines,

- ✓ **Les rejets agricoles:** résultant de la percolation des eaux de pluie dans les sols et de son ruissellement, de l'épandage de produits chimiques sur les sols, des activités maraîchères et des élevages,
- ✓ **Les rejets industriels:** les proportions de pollution des secteurs varient selon les types de pollutions et la part d'origine industrielle étant par exemple plus élevée pour certains polluants toxiques.

2.8.3. Définition des eaux usées :

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Les eaux usées, aussi appelées eaux résiduaires, sont des eaux qui ont subi une détérioration de leurs caractéristiques naturelles (physique, chimique ou biologique) après usage lié de façon directe ou indirecte aux activités humaines. On appelle eaux usées les eaux issues des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Celles-ci englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance.

Les eaux usées se divisent en deux grandes catégories : les eaux résiduaires urbaines (ERU) et les eaux résiduaires industrielles (ERI).

2.8.3.1. Les eaux résiduaires urbaines (ERU) :

Les ERU regroupent les eaux ménagères, les eaux vannes et les eaux de ruissellement. La composition et les caractéristiques d'une eau résiduaire urbaine sont peu variables par rapport aux eaux usées industrielles.

2.8.3.2. Les eaux résiduaires industrielles (ERI)

Les ERI sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Les caractéristiques des eaux usées industrielles varient, elles dépendent à une multitude de paramètres tels que, le type de l'industrie, production, nettoyage,..., les différentes étapes du procédé industriel, l'état des appareils,... Par ailleurs, il existe des caractéristiques communes entre les effluents de la même industrie.

En termes de volume et type de polluants, les effluents industriels présentent le plus souvent une charge importante et un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées. Ces risques sont d'autant plus grands que les industries sont localisées en amont du réseau d'assainissement.

Les principaux polluants présents dans les eaux usées d'origine industrielle sont :

- ◆ Les métaux toxiques,

- ◆ Les toxines organiques,
- ◆ Les matières colorées,
- ◆ Les huiles et graisses,
- ◆ Les sels.

2.8.4. Conséquences de la pollution :

- Les matières organiques solubles abaissent la teneur en oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à la réduction et à la mort de la faune aquatique.
- Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité.
- Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux.
- Les huiles et les graisses flottants conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable.
- Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique.
- Le phosphore et l'azote conduit à l'eutrophisation des cours d'eau.
- Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau.

2.8.4.1. Conséquences de la pollution des eaux sur la santé des êtres vivants :

Les conséquences de la pollution des eaux sur la santé des êtres vivants peuvent être graves et variées, notamment :

A. Impacts sur la santé humaine :

- ✓ Augmentation des maladies liées à l'eau contaminée (ex : gastro-entérites, infections).
- ✓ Risques de maladies chroniques (ex : cancers, troubles endocriniens) dus à l'exposition à des substances toxiques.

B. Impacts sur la faune aquatique :

- ✓ Mortalité accrue chez les poissons et autres organismes aquatiques.
- ✓ Perturbation des chaînes alimentaires aquatiques.
- ✓ Modifications des populations et des espèces.
- ✓ Altération des écosystèmes aquatiques :
- ✓ Réduction de la biodiversité.
- ✓ Dégradation des habitats aquatiques.
- ✓ Perturbation des cycles naturels.

2.8.4.2. Effets économiques et sociaux :

- ✓ Coûts accrus pour le traitement de l'eau potable.
- ✓ Réduction des activités économiques liées à l'eau (pêche, tourisme).
- ✓ Impacts sur les communautés dépendantes des ressources aquatiques.

2.8.4.3. Impacts à long terme :

- ✓ Accumulation de polluants dans l'environnement.
- ✓ Effets persistants sur la santé et les écosystèmes.
- ✓ Défis pour la restauration des milieux aquatiques contaminés.

2.8.5. La Lutte contre la pollution de l'eau :

La réduction de la pollution des eaux passe essentiellement par l'application de bonnes pratiques par les usagers de l'eau et des milieux aquatiques sur tout le bassin versant. Les objectifs sont multiples :

- ✓ Privilégier les activités les moins polluantes,
- ✓ Améliorer les usages pour diminuer la quantité de substances utilisées ou rejetées, mais aussi intercepter les flux de polluants dans le bassin versant.

Les paramètres essentiels qui doivent être pris en compte pour le choix d'une technologie de traitement doivent tenir compte :

- ✓ Des exigences du milieu récepteur.
- ✓ Des caractéristiques des eaux usées, (demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, matières en suspension, etc.)
- ✓ Des conditions climatiques (température, évaporation, vent, etc.)
- ✓ De la disponibilité du site.
- ✓ Des conditions économiques (coût de réalisation et d'exploitation).
- ✓ Des facilités d'exploitations, de gestion et d'entretien.

2.8.5.1. Réaliser une épuration des eaux avant leur rejet direct :

Les eaux collectées dans les égouts doivent être traitées avant d'être rejetées dans la nature pour protéger la santé des individus et sauvegarder la qualité du milieu naturel.

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, des niveaux de traitement sont définis (**Fig 2.5 et 2.6**).

- Un prétraitement
- Le traitement primaire
- Le traitement secondaire (traitement biologique)

- Le traitement tertiaire cela s'ajoute le traitement des boues.



Figure 2.5 : Station d'épuration de l'eau.

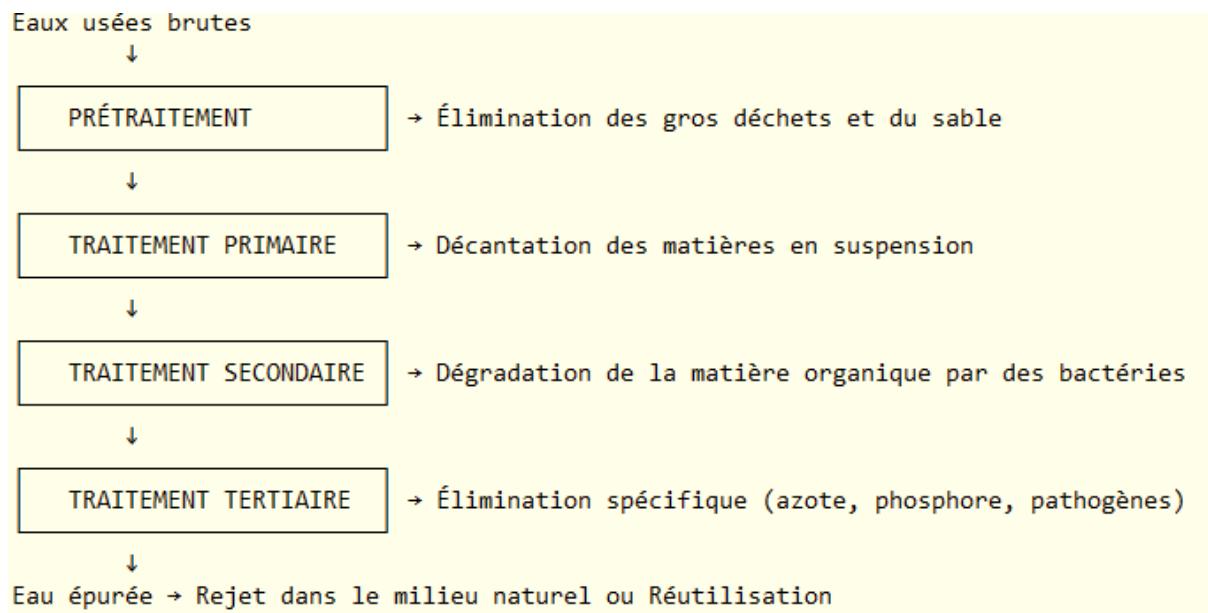


Figure 2.6: Etapes de traitement des eaux usées.

A. Le prétraitement:

Retirer les éléments solides les plus gros et les plus lourds qui pourraient endommager les équipements ou perturber les traitements suivants.

A.1. Dégrillage : Les eaux usées passent à travers des grilles (ou "cribles") de différentes tailles qui retiennent les gros déchets : plastiques, chiffons, bois, etc.

A.2. Dessablage : L'eau est ralentie dans un bassin pour permettre la sédimentation du sable, du gravier et des particules minérales lourdes.

A.3. Déshuileage / Dégraissage : À l'inverse, dans ce bassin, on remonte à la surface les graisses, les huiles et les hydrocarbures, qui sont ensuite raclés et éliminés.

B. Le traitement primaire : Éliminer une grande partie des matières en suspension (MES) par décantation physique. L'eau s'écoule très lentement dans de grands bassins circulaires ou rectangulaires appelés "clarificateurs". Les matières solides organiques (les "boues primaires") se déposent au fond sous l'effet de la gravité et sont raclées pour être évacuées.

C. Le traitement secondaire (ou biologique): Dégradation de la pollution organique dissoute et des particules fines restantes par l'action de micro-organismes (bactéries, protozoaires). C'est le cœur de la station d'épuration. Il existe plusieurs procédés :

C.1. Boues Activées (le plus courant) :

Bassin d'aération : Les eaux sont mélangées à un "lactobacille" (des bactéries en suspension). De l'air est insufflée pour fournir l'oxygène nécessaire aux bactéries, qui "mangent" la matière organique polluante.

Décantation secondaire : Le mélange est ensuite envoyé dans un autre clarificateur. Les bactéries, après avoir consommé les polluants, forment des flocs qui se déposent au fond. Ces "boues activées" sont en partie recyclées dans le bassin d'aération pour maintenir une population bactérienne active, et le surplus est évacué.

C.2. Lit bacterien : Les eaux sont ruisselées sur un support fixe (roches ou plastique) où est fixée une biomasse bactérienne qui dégrade les polluants au passage.

D. Le traitement tertiaire (ou avancé): "Polir" l'eau pour éliminer des polluants spécifiques résiduels avant le rejet. Ce traitement n'est pas systématique mais de plus en plus répandu.

- **Désinfection :** Pour éliminer les pathogènes (bactéries, virus). La désinfection se fait par :

- **Chlore :** Efficace, mais peut former des sous-produits indésirables.
- **Rayons Ultraviolets (UV) :** Très efficace et écologique, sans ajout de produit chimique.
- **Ozone :** Puissant désinfectant.

- **Élimination de l'azote et du phosphore :** Ces nutriments, responsables de l'eutrophisation (prolifération d'algues), sont éliminés par des processus biologiques spécifiques (nitrification/dénitrification) ou par précipitation chimique pour le phosphore.

- **Filtration fine** : Passage sur des filtres à sable ou des membranes (microfiltration) pour retenir les dernières particules en suspension.
- **Le Traitement des Boues Résiduaires** : Les boues issues des décanteurs primaire et secondaire doivent également être traitées. C'est une partie cruciale du processus. Il est effectué par :
 - **Épaississement** : Réduire le volume d'eau dans les boues.
 - **Digestion (ou Stabilisation)** : Les boues sont maintenues dans des cuves fermées (digesteurs) pendant plusieurs semaines. Des bactéries anaérobies les décomposent, produisant du biogaz (mélange de méthane et de CO₂) qui peut être valorisé pour produire de l'électricité ou de la chaleur.
 - **Déshydratation** : Les boues stabilisées sont déshydratées (par centrifugation, filtres-presses, etc.) pour obtenir un "gâteau" de boues plus facile à transporter.
 - **Valorisation ou Élimination** : Les boues déshydratées sont généralement :
 - ✓ Épandues en agriculture comme engrais naturel (si leur qualité le permet).
 - ✓ Incinérées.
 - ✓ Mises en décharge.

2.8.5.2. Encadrer ou interdire l'usage de substances dangereuses :

Certaines substances sont particulièrement dangereuses pour les milieux et la santé, soit parce qu'elles ne sont pas biodégradables et s'accumulent, ou par exemple parce qu'elles sont cancérogènes. Il est alors préférable d'interdire leur production et leur usage pour protéger l'environnement et la santé.

2.8.5.3. Réduire l'utilisation de produits phytosanitaires :

La réduction des quantités de produits phytosanitaires utilisées est la première manière de lutter contre la pollution diffuse de l'eau. Pour protéger la santé des personnes et la qualité de l'eau, la réglementation réduit progressivement l'utilisation des pesticides par les collectivités et les particuliers.

Depuis 2017, leur emploi est interdit dans les espaces verts, et ils ne sont plus disponibles à l'achat en libre-service. A partir du 1^{er} janvier 2019, leur utilisation ne sera plus autorisée aux particuliers.

2.8.5.4. Réglementer la fertilisation des sols :

Afin de prévenir la pollution des milieux aquatiques par les nutriments, la réglementation encadre strictement l'utilisation des engrains, qu'ils soient organiques (effluents d'élevage comme le fumier ou le lisier) ou de synthèse.

L'objectif central est d'ajuster les apports en azote à la capacité d'absorption des sols, pour éviter tout excédent qui pourrait être drainé vers les cours d'eau et les nappes phréatiques.

Concrètement, cette gestion raisonnée se traduit par une planification préalable, via l'établissement d'un plan de fumure ou d'un plan d'épandage. Ces outils permettent de calculer les doses maximales à épandre en tenant compte de deux facteurs clés : la concentration en nutriments des engrains utilisés et la capacité naturelle du sol à retenir les nitrates.

2.8.5.5. Éviter les transferts aux milieux aquatiques :

La lutte contre la pollution diffuse passe par la limitation des transferts directs aux milieux aquatiques. C'est l'objet de certaines règles relatives à l'épandage : interdiction de traiter les fossés par exemple. Concernant les produits phytosanitaires, une zone non traitée doit être maintenue autour des points d'eau (ruisseau, rivière, plan d'eau, etc.). Sa largeur varie de 5 à 50 mètres, en fonction de divers paramètres - notamment la dangerosité des produits.

2.8.5.6. Protéger les captages d'eau :

Les captages d'eau sont les ouvrages de prélèvement qui exploitent une ressource en eau, superficielle (rivière, lac) ou souterraine (nappe phréatique).

L'eau prélevée - appelée eau brute - sert notamment à la production d'eau potable après une étape de potabilisation.

Pour protéger la santé humaine et limiter les coûts des traitements de potabilisation, l'eau brute doit être de la meilleure qualité possible, ce qui justifie la mise en place de protection des captages.