



C o u r s
Pollution et traitement des eaux
Master 1 Hydrogéologie

Farès KESSASRA
Professeur en Hydrogéologie

20 avril 2024

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction | 4 |
| 2 | Eaux naturelles | 5 |
| 2.0.1 | Eaux conventionnelles | 6 |
| 2.0.2 | Eaux non-conventionnelles | 11 |
| 3 | Pollution des eaux | 17 |
| 3.1 | Familles des polluants | 17 |
| 3.1.1 | Polluants physiques | 17 |
| 3.1.2 | Polluants minéraux | 17 |
| 3.1.3 | Polluants organiques | 20 |
| 3.1.4 | Polluants microbiologiques | 21 |
| 3.1.5 | Polluants pharmaceutiques | 21 |
| 3.2 | Types de pollution | 21 |
| 3.2.1 | Pollution agricole | 21 |
| 3.2.2 | Pollution urbaine | 24 |
| 3.2.3 | Pollution industrielle | 25 |
| 3.2.4 | Pollution bactériologique | 26 |
| 4 | Traitemennt des eaux | 27 |
| 4.1 | Prétraitements | 27 |
| 4.1.1 | Dégrillage | 27 |
| 4.1.2 | Dilacération | 27 |
| 4.1.3 | Dessablage | 27 |
| 4.1.4 | Débourbage | 27 |
| 4.1.5 | Déshuilage, dégraissage | 27 |
| 4.1.6 | Tamisage | 29 |
| 4.1.7 | Filtration | 29 |
| 4.2 | Traitemennt primaire et physico-chimique | 29 |
| 4.2.1 | Décantation | 29 |
| 4.2.2 | Coagulation et Floculation | 31 |
| 4.3 | Traitemennt chimique | 31 |
| 4.3.1 | Charbon actif | 31 |
| 4.3.2 | Chloration | 31 |
| 4.3.3 | Ozonisation | 33 |
| 4.3.4 | Contrôle qualité et le contrôle sanitaire | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 5 Épuration des eaux | 37 |
| 5.1 Prétraitement physique | 37 |
| 5.1.1 Dégrillage, dessablage et dégraissage | 37 |
| 5.2 Traitement primaire | 37 |
| 5.2.1 Décantation naturelle | 37 |
| 5.2.2 Décantation physico-chimique | 37 |
| 5.3 Traitement secondaire ou traitement biologique | 38 |
| 5.3.1 Procédés biologiques extensifs (Lagunage naturel) | 38 |
| 5.3.2 Procédés biologiques à cultures libres (Boues activées) | 38 |
| 5.3.3 Procédés biologiques à cultures fixées (biofiltres et les lits bactériens) | 39 |
| 5.4 Traitement secondaire : traitement biologique | 39 |
| 5.4.1 Traitement anaérobiose des eaux usées | 39 |
| 5.4.2 Traitement aérobie des eaux usées | 39 |
| 5.5 Traitement tertiaire | 40 |
| 5.5.1 Élimination de l'azote et du phosphore | 40 |
| 5.5.2 Procédés de désinfection | 40 |
| 5.6 Traitement des boues | 40 |
| 6 Dessalement des eaux saumâtres | 41 |
| 6.1 Procédés thermiques | 41 |
| 6.1.1 Distillation à simple effet | 41 |
| 6.1.2 Distillation à multiples effets (MED) | 41 |
| 6.1.3 Distillation à détentes étagées ou multi flash (MSF) | 42 |
| 6.1.4 Distillations par compression de vapeur | 42 |
| 6.2 Procédés membranaires | 42 |
| 6.2.1 Electrodialyse | 42 |
| 6.2.2 Osmose inverse | 42 |

Chapitre 1

Introduction

L'analyse d'un hydrosystème s'appuie sur deux aspects, l'un quantitatif basé sur la gestion des stocks d'eau et l'autre qualitatif ayant trait à la pollution de la ressource. Chacun de ces deux aspects est influencé par deux composantes, l'une naturelle (le contexte) et l'autre anthropique (perturbation du contexte par les activités humaines). Ce dernier aspect est au coeur de cet enseignement.

Les activités humaines ne sont pas sans effets sur la qualité des ressources en eau. En effet, les rejets d'eaux usées dans les milieux naturels sont caractérisés par les flux en différents éléments chimiques qu'ils apportent. Ces rejets ont des conséquences sur le fonctionnement écologique de ces milieux. Les enjeux environnementaux et sanitaires liés aux pollutions toxiques dans les milieux aquatiques font partie intégrante des préoccupations majeures actuelles. Cette pollution peut avoir des effets réparables et moins coûteux telles que les contaminations ponctuelles et accidentelles, minéralisation naturelle eau-roche, mais souvent ils sont irréversibles sur les écosystèmes en cas de persistance.

Ces effets et actions de protection qui en découlent génèrent des coûts parfois assez lourds selon l'ampleur de la pollution, ce sont des coûts au traitement et l'épuration des eaux contaminées. La construction de stations d'épuration pour les industries, la mise au point de nouveaux procédés, la décontamination de sites pollués en sont quelques actions à engager en cas de risque. Ces coûts peuvent aussi être indirects en empêchant des usages de l'eau (AEP), ou en bloquant le fonctionnement de stations d'épuration urbaines. D'où la nécessité de réduire, empêcher et lutter contre les pollutions des milieux aquatiques. Tous les programmes d'action engagés pour lutter contre ces pollutions toxiques suivent une démarche cohérente qui passe par plusieurs phases d'étude. Une phase de diagnostic, de définition des objectifs, de mise en oeuvre des actions et de suivi de leur efficacité. Ces différentes étapes impliquent de nombreux acteurs (services de l'Etat, collectivités locales, établissements publics, scientifiques, entreprises, agriculteurs, usagers), lesquels interviennent soit sur les aspects techniques, soit sur les aspects stratégiques, en s'appuyant sur une large gamme d'outils.

Chapitre 2

Eaux naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées d'eaux de mer et saumâtres et d'eaux douces composées d'eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves), d'eaux souterraines (nappes aquifères).

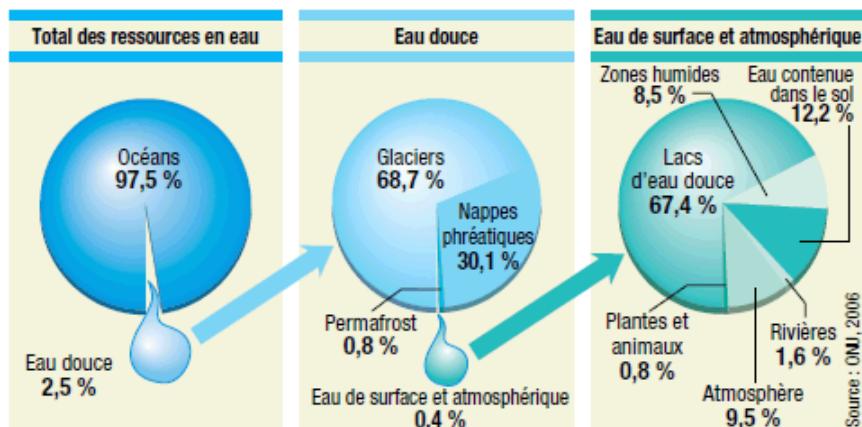


FIGURE 2.1 – Répartition de l'eau sur la planète en pourcentage du volume total

Les eaux de la planète appartiennent à 97,5% aux océans, elles sont donc salées, et 2,5% uniquement sont formées d'eaux douces. Ces dernières se trouvent entre 69 et 77 % de leur volume dans les calottes polaires et les glaciers ; à l'état liquide, elles sont de nature principalement souterraine pour 22 à 30 %. Les ressources d'eau douce directement utilisables sont les cours d'eau et les eaux souterraines accessibles, elles ne représentent que 0,77 %. La part des rivières et des lacs y est inférieure à 0,01 % : ils fournissent moins de 1,3 % de l'eau facile à utiliser. Les stocks d'eau douce contenue dans l'écorce terrestre ne forment qu'un centième du volume global de l'hydrosphère (océans compris). Les eaux souterraines constituent presque 50% d'approvisionnement dans le monde et contribuent à la sécurité hydrique et alimentaire dans les régions arides.

Ces eaux douces sont menacées par divers facteurs, elles sont surexploitées et sujettes à des pollutions de diverse nature. Ces pollutions peuvent être naturelle, où la charge en matières minérales dissoutes résulte de trois facteurs principaux : l'érosion chimique des roches du bassin versant, les apports par précipitations atmosphériques et les processus d'évaporation et de précipitation, soit anthropique par le déversement direct d'eaux usées

d'origine urbaine et industrielle, et à travers les interventions agricoles sur le bassin versant (défrichage, épandage d'engrais, irrigation).

2.0.1 Eaux conventionnelles

Eaux saumâtres et eaux de mer

Une eau saumâtre est une eau, ou un plan d'eau (lagune saumâtre), dont la salinité est intermédiaire entre celle de l'eau douce et celle de l'eau de mer. La salinité est comprise entre 0,1 et 1% qui contient entre 0,5 et 30 grammes de sel par litre. Elle peut résulter du mélange de l'eau de mer avec de l'eau douce (précipitations abondantes), comme dans les estuaires, ou elle peut exister dans les aquifères fossiles saumâtres. Sa teneur en matières dissoutes est inférieure à celle de l'eau de mer, sa concentration est comprise entre 1000 et 10000 ppm.

Quant à l'eau de mer, elle est caractérisée par une salinité importante de 35 g/l, mais qui peut varier selon les origines (Mer rouge à 40 g/l et la mer morte à 270 g/l). Certains éléments sont en proportion constante, tels que le chlore et le sodium, et d'autres en proportion variable. Certaines de ses caractéristiques physiques sont importantes : turbidité, matières en suspension, nombre de particules (de plus de 2 ou 5 mirco.m par ml ou 100 ml), indice de colmatage. Elles sont très variables selon la localisation :

- en pleine mer, les MES sont représentées par le zooplancton et le phytoplancton à quelque mg.l-1,
- près des rivages : la teneur en sable peut être importante selon l'agitation (vent, marées) et la profondeur (présence d'un plateau continental). A proximité des agglomérations, la pollution par des rejets urbains et industriels peut devenir prépondérante : la teneur en MES peut varier de plusieurs dizaines de mg.l-1 à une ou deux centaines,
- dans les estuaires, la rencontre du courant fluvial avec l'eau de mer et l'influence de la marée (avec remontée de l'eau de mer dans le lit du fleuve) sont la cause de variations importantes de la salinité et de la teneur en MES de l'eau prélevée. L'agitation provoquée par l'inversion du courant remet en suspension des sédiments, avec formation d'un "bouchon" dont la teneur en MES peut atteindre plusieurs g.l-1, la teneur en plancton peut également être très variable selon les conditions géographiques (mer peu profonde et peu agitée) et climatiques (floraison d'algues en mer du Nord).

Les processus de dissolution correspondent à des réactions acide-base. Ainsi, la composition des mers s'interprète comme le résultat du titrage entre les acides émis lors des éruptions volcaniques et les bases des roches comme les silicates, les oxydes, ou les carbonates. La composition de l'eau de mer reste remarquablement constante ; les eaux provenant de différentes mers et océans ne diffèrent que faiblement. Le pouvoir tampon représente cette capacité d'un système à maintenir une composition constante.

Eaux de surface

Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de rivière, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en rivières, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement, stockées en réserves

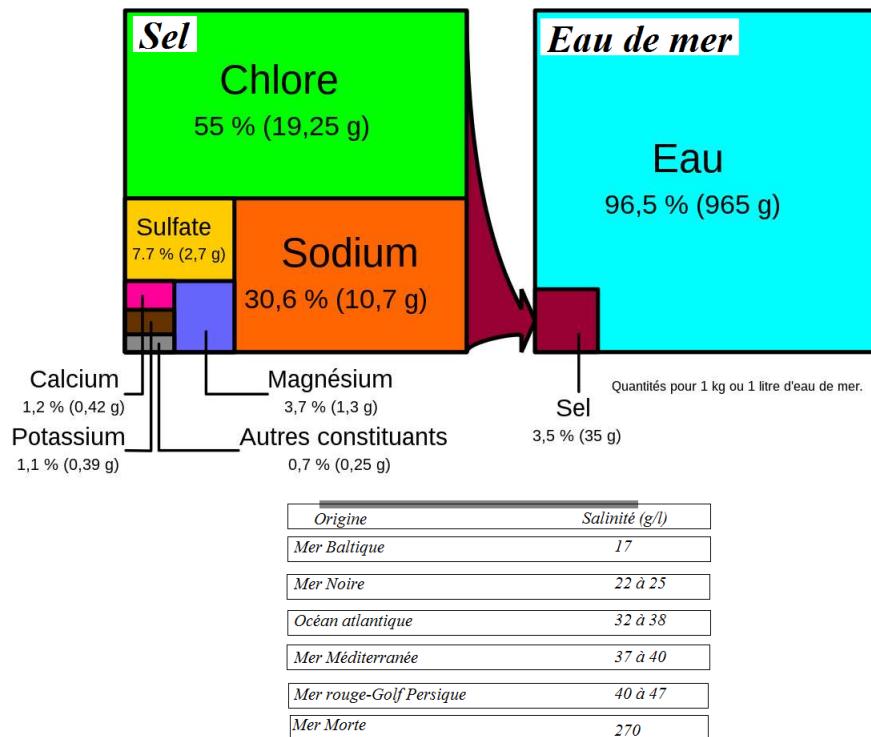


FIGURE 2.2 – Exemples de salinité de l'eau de certains mers et océans

naturelles (lacs) ou artificielles (barrages et retenues collinaires) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile.

- **Eaux de rivières** Dans leur partie amont souvent à très forte pente et de bien meilleure qualité, les eaux de rivières sont caractérisées par :

- une forte turbidité liée au régime torrentiel des cours d'eaux ;
- une faible coloration du fait de temps insuffisant dont dispose l'eau pour dissoudre les matériaux.

Dans leur partie aval où la pente s'adoucit progressivement, les eaux sont de moins bonne qualité en raison de la pollution humaine, elles ont :

- une forte contamination bactérienne ;
- des pollutions organique et minérale élevées ;
- de fortes colorations, suite à la dissolution de composés divers.

- **Eaux de lacs**, Le lac se comporte comme un bassin de décantation naturel ; ce qui confère à l'eau une faible turbidité. Étant leur temps de séjour important, les eaux de lacs dissoudront de multiples substances. Leurs caractéristiques varient lentement au cours de l'année mais peuvent brusquement varier pendant la période des hautes eaux à cause des eaux de ruissellement et celle des basses eaux. Si, au cours d'une courte période, la composition des eaux d'un lac varie peu et semble suivre le cycle des saisons, il n'en va pas de même sur une longue période. En effet, les lacs sont condamnés à se transformer en étangs, puis en marais. Les substances nutritives charriées par les eaux de ruissellement qui alimentent un lac s'accumulent. Le développement des plantes aquatiques dont les métabolismes conduisent à la disparition de l'oxygène dissous se trouvent ainsi favorisé.

En outre, la biomasse devient importante ; le lac se comble, suite à la formation de vase. On assiste alors à l'apparition d'espèces végétales (les algues bleues ou cyanophycées). On appelle eutrophisation, ce phénomène qui transforme progressivement un lac en un étang, suite au déficit en oxygène dissous.

- Barrages d'eau et retenues collinaires, Les barrages sont construits pour contrôler les débits (contrôle des crues et soutien des étiages), constituer des réserves en eau et produire de l'énergie. Ils sont classés en quatre classes suivant les critères h (hauteur en m au dessus du terrain naturel) et V (volume du réservoir en millions de m^3) :

- classe A : hauteur h supérieure ou égale à 20 m,
- classe B : hauteur h supérieure ou égale à 10 m et $h^2xV^{0.5}$ supérieur ou égal à 200,
- classe C : hauteur h supérieure ou égale à 5 m et $h^2xV^{0.5}$ supérieur ou égal à 20,
- classe D : hauteur h supérieure ou égale à 2 m.

Le critère $h^2xV^{0.5}$ est lié à l'énergie potentielle de l'eau contenue dans le réservoir, un indice du risque encouru lors d'une rupture.

Malavoi et Area (2003) identifient trois types d'effets des barrages : effets dus à la modification des flux, effets dus à la retenue, effets dus au point dur constitué par le seuil mais on les résume comme suit :

- Modifications du régime de la rivière : la fréquence, la durée et l'importance des crues ou des périodes d'étiage à l'aval,
- Modification des processus d'érosion à l'amont et à l'aval : créé un point dur et diminue les processus d'érosion latérale à l'amont avec pour conséquence une plus grande stabilité des milieux naturels,
- Modification des processus de transport solide : Le piégeage des sédiments grossiers (galets, graviers et sables) dans la retenue réduit la recharge alluviale à l'aval ce qui a pour conséquence une érosion du lit mineur de la rivière,
- Piégeage des sédiments fins dans la retenue : cette accumulation se traduit par un changement radical de la qualité des eaux stockées. Il est nécessaire d'effectuer régulièrement des chasses (purges) en ouvrant les vannes de fond du barrage pour évacuer les sédiments. On envoie alors vers l'aval des flux très importants de particules fines, souvent polluées avec des effets négatifs sur la rivière et ses usages.
- Modification des conditions écologiques à l'amont de la retenue : Dans la retenue, la profondeur de l'eau augmente et la vitesse diminue, les habitats se transforment. Ceci a pour conséquence le remplacement des espèces naturelles par des espèces préférant les courants lents et les fortes profondeurs.

Quant aux retenues collinaires, ce sont des réservoirs de stockage d'eau de dimensions modestes (classes C ou D), créés à partir d'un petit barrage en remblai. Destinées à l'agriculture elles se distinguent des "bassins" qui sont des réservoirs entourés par un périmètre endigué ou des "bassines", petits bassins étanchés avec une géomembrane.

- Mobilisation, potabilité et normes de qualité : Les eaux de surface présentent l'avantage d'être facilement accessibles au niveau des cours d'eau par des prélèvements au fil de l'eau ou à partir de barrages et retenues collinaires. En Algérie, elle représente 60% du volume d'eau mobilisé pour l'approvisionnement en eau potable (Plan Bleu, 2009b). Elles sont sensibles aux divers aléas externes tels que l'aléa climatique déclencheur de crues

et de sécheresses, des diverses contaminations chimiques et bactériologiques qui dégradent immédiatement sa qualité, des prises d'eau directes non contrôlées qui créent parfois des conflits d'usages,...etc.

Les eaux de surface peuvent servir à l'irrigation à condition de connaître leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques afin d'éviter des effets négatifs sur les plantes et le colmatage des émetteurs goutte-à-goutte. L'irrigation se fait à partir du fil d'eau par pompage individuel ou gravitairement par interception dans le cours d'eau. Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement avec une présence de gaz dissous (oxygène et de matières en suspension). Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors colloïdale. La présence également de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux et la présence de plancton : phytoplancton (algues...) et zooplancton. Elles sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions d'origine urbaine, industrielle (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniaque, produits toxiques) ou agricole (engrais et produits pesticides).

De ce fait, la FAO a instauré des normes de qualité fixant les limites de tolérance par type de cultures, à l'acidité, l'alcalinité, la salinité, les paramètres chimiques et biologiques. L'eau d'irrigation doit être propre avec un pH neutre, une salinité basse à moyenne, un faible risque de sodium et de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, nitrates et le bore. La salinité qui est le contenu total en sel soluble et le Sodium qui est la proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres sont deux critères importants car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

Eaux souterraines

- Classification des eaux souterraines : Les eaux souterraines sont classées en deux catégories selon leur appartenance ou non au cycle hydrologique et selon la zone où elles sont situées. Des eaux météoriques provenant des précipitations qui s'infiltrent et rechargent les nappes aquifères et des eaux fossiles accumulées à la faveur de phénomènes géologiques sans aucun rapport avec le cycle hydrologique. Vu leur origine, elles possèdent un taux élevé de salinité. D'autres encore, sans appartenir au cycle hydrologique, sont susceptibles d'y être réintégrées : provenant de zones situées à de grandes profondeurs, ce sont des eaux juvéniles ou magmatiques.

Selon leurs profondeurs, les eaux souterraines se regroupent en : aquifères superficielles exploités par des puits peu profonds et des puits artésiens et des aquifères profonds exploités par des forages.

- Caractéristiques des eaux souterraines : Elles offrent naturellement une capacité de stockage et donc une plus grande sécurité d'approvisionnement qui ne peut souvent

être obtenue avec les eaux superficielles qu'au prix de stockages dans des barrages. Leur caractère extensif et accessible, en font d'elles une ressource appropriée aux utilisations dispersées (Reynaud, 2000). Elles sont moins sensibles aux variations saisonnières notamment en milieu alluvionnaire, moins couteuses en terme de traitement et de captage et garantie un approvisionnement régulier. Environ 15% des prélèvements en eau en Algérie provient des ressources en eau souterraine (Plan bleu, 2009b). Dans les zones arides, les eaux souterraines sont d'une importance cruciale, car les eaux de surface sont très limitées. Les possibilités de renouvellement de ces réserves en eau souterraine sont en outre limitées.

Enfin, les eaux souterraines sont de meilleure qualité. Leur qualité naturelle de celle de l'eau de surface par les caractéristiques suivantes :

- Leur qualité, leur température et leurs paramètres sont moins variables dans le temps,
- L'échelle des valeurs de leurs paramètres est plus grande. Les matières dissoutes peuvent varier de 25 mg/l à 300 000 mg/l (eaux profondes salines).
- Elle est naturellement filtrée du fait qu'elle coule dans un aquifère, cette filtration combinée à une longue période de séjour, l'eau est exempte de micro-organismes pathogènes, moins de MES et de matière non-dissoutes.

La nature chimique de l'eau évolue continuellement au cours de sa circulation dans le cycle de l'eau. Les constituants chimiques dépendent de la chimie des précipitations et de l'eau de l'alimentation, des précipitations qui contiennent des chlorures de sodium près des zones côtières et des composés atmosphériques de soufre et d'azote rendant les pluies acides en aval des zones industrielles.

- Usages, potabilité et menaces : Les divers usages d'eau souterraine sont susceptibles d'influencer à la fois la quantité et la qualité des ressources. L'exploitation excessive d'un aquifère en fait baisser progressivement le niveau et en cause l'épuisement. Au cas où les prélèvements d'eau se font en une quantité qui dépasse les volumes à raison desquels advient l'alimentation naturelle de l'aquifère, on dit que celui-ci est surexploité. En outre, c'est leur mode d'exploitation qui peut comporter des répercussions d'ordre qualitatif. Les aquifères côtiers sur-exploités sont menacés d'intrusion d'eau de mer.

Synonymes "d'eaux propres" et répondant naturellement aux normes de potabilité, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles. L'évaluation du "bon état chimique" des masses d'eau souterraine repose sur deux types de valeurs de référence : des normes de qualité et des valeurs seuils. Il existe des normes OMS, algériennes, européennes, ...etc qui ne doivent pas être dépasser.

- Rapport eau de surface-eau souterraine, Le régime des eaux souterraines est en étroit rapport avec celui des eaux de surface. Les eaux d'une rivière peuvent représenter pour l'aquifère la source où il s'alimente. C'est pendant les crues ; à l'inverse, il peut arriver dans les saisons d'étiage que les eaux souterraines aillent alimenter un cours d'eau qui devient alors l'effluent. Toute pollution qui affecte l'une atteindra l'autre et compromettra l'usage de la ressource dans son ensemble.

| Type d'eau | | Eaux de surface | | | Eaux souterraines (1) | | Eau souterraine (1) Eau de surface (1) | |
|------------------------|----------------------|---|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|
| | | Eau de lac (2) | Cours d'eau (3) | | Sable en environnement calcaire | Sable provenant de roches primaires | Gravier à inclusions d'argiles | Gravier à inclusions d'argiles |
| Lieu d'échantillonnage | | Lac du Bourget (prof. 140 m) avant 1980 été | Thur à Fellerung « non polluée » | Thur à Ensisheim « polluée » | Verdun puits n° 1 | Haybes | Bischwiller (nappe alluviale de la Moder) | Moder à Haguenau étage |
| Température | °C | 5,3 | 2,4 | 3,8 | 12,5 | | 11,5 | 16,0 |
| pH | | 7,3 | 6,7 | 8,4 | 7,35 | 7,08 | 7,06 | 7,53 |
| Dureté totale | meq L ⁻¹ | 3,24 (16,2)* | 0,79 (3,95)* | 1,28 (6,4)* | 6,1 (30,5)* | 2,13 (10,65)* | 4,24 (21,2)* | |
| Dureté des carbonates | meq L ⁻¹ | | 0,31 (1,55)* | 1,84 (9,2)* | | | | |
| Calcium | mg L ⁻¹ | 55 | 11 | 21 | 112,2 | 36,50 | 73,6 | 18,8 |
| Magnésium | mg L ⁻¹ | 6 | 2,9 | 2,8 | 4,9 | 3,7 | 6,7 | 5,3 |
| Sodium | mg L ⁻¹ | 6 | 3,0 | 101 | 5,0 | 12,5 | 8,0 | 26,6 |
| Potassium | mg L ⁻¹ | 2 | 0,6 | 20,4 | 1,2 | 0,6 | 2,4 | 6,2 |
| Fer | mg L ⁻¹ | (0,02)*** | | | 0,00 | < 0,01 | 1,14 | |
| Manganèse | mg L ⁻¹ | | | | 0,004 | 0,016 | 6,7 | |
| Sulfates | mg L ⁻¹ | 25 | 2,5 | 42 | 53,0 | 21,6 | 33,0 | 27,0 |
| Chlorures | mg L ⁻¹ | 6 | 14 | 116 | 13,0 | 15,6 | 14,6 | 30,5 |
| Nitrites | mg N L ⁻¹ | < 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,00 | < 0,01 | 0,00 | 0,27 |
| Nitrates | mg N L ⁻¹ | 0,85 (0,6)*** | 0,77 | 1,04 | 17,7 | 4,1 | 0,00 | 9,5 |
| Ammonium | | < 0,05 | | | | | | |
| (Ammoniaque) | mg N L ⁻¹ | (< 0,02)*** | 0,02 (< 0,001) | 0,96 (0,11) | 0,00 | < 0,05 | 0,07 | 0,33 |
| O-Phosphate | mg P L ⁻¹ | 0,15 (0,07)*** | 0,02 | 0,51 | | | | |
| Phosphate total | mg P L ⁻¹ | 0,17 (0,08)*** | 0,04 | 0,78 | 0,02 | | 0,05 | |
| Oxygène | mg L ⁻¹ | | 12,0 | 11,2 | 4,8 | | 1,0 | 9,6 |
| Acide silicique | mg L ⁻¹ | 3 | | | | | | |
| COD** | mg L ⁻¹ | | (2,5)*** | | | | | |
| DCO** | mg L ⁻¹ | | 8 | 14 | | | | |

FIGURE 2.3 – Exemples de composition chimique d'eaux de surface et souterraines (d'après Sigg et al.)

2.0.2 Eaux non-conventionnelles

La rareté d'eau pousse à rechercher des ressources en eau supplémentaires afin de répondre à une demande accrue. De ce fait, les ressources en eau non-conventionnelles pourraient contribuer à répondre à cette demande, en particulier pour le secteur agricole pendant les périodes de sécheresse. Trois catégories et techniques qu'on étudiera ici : les eaux usées et la réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux du drainage agricole et le dessalement des eaux de mer.

Eaux usées

Les divers effluents d'eaux usées en provenance d'agglomérations urbaines et zones d'activités industrielles sont de trois types :

- Les eaux de ruissellement qui comprennent les eaux de pluie, les eaux de lavage et les eaux de drainage,
- Les eaux usées d'origine domestique, elles comprennent les eaux ménagères,
- Les eaux usées industrielles, très variées selon la filière industrielle.

Un rejet d'eau usée fera augmenter la salinité de l'eau. Réchauffé ou refroidi (centrale électrique), il fera changer sa température, car lorsque la température de l'eau augmente, la solubilité de l'oxygène diminue. Un rejet de liquide ou solide de substances modifiant la turbidité du milieu. On distingue les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères) et les matières non séparables (de même densité

que l'eau). Mais aussi des matières inorganiques (argile, limon, précipités métalliques) et matières organiques (débris végétaux et animaux, microorganismes). Elles entraînent la diminution de la transparence, la diminution de l'oxygène et des végétaux, elles peuvent héberger des microorganismes et piéger des métaux lourds et des biocides. Les boues et les déchets ménagers produits contiennent 75% de MO, 5% d'azote et 2% de phosphates et concentrent des micropolluants minéraux : métaux lourds, plomb, mercure, cadmium, et organiques et des micro-organismes pathogènes.

En Algérie, les eaux usées sont traitées par 188 STEP, avec une capacité de 16 millions équivalent habitant, soit 40% de la population alors que 94% de la population est équipée d'assainissement, et un débit nominal cumulé d'eaux usées brutes de 936 millions de m³/an, dont 400 sont réellement épurées, soit 44% du débit nominal. L'Algérie réutilise seulement 0,1 milliard de m³/an.

Eaux usées urbaines

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.

Eaux usées industrielles

Elles dépendent de la filière industrielle et sa consommation en eau et du contenu de ses rejets d'eau usées, du degré technologique du recyclage. Les industries pétrolières, chimiques, agro-alimentaires, électroniques, des mines, de l'acier sont classées polluantes. Les industriels sont appelés à réduire les effluents polluants et supprimer des substances cibles afin d'éviter l'effet des cocktails de contaminants. Les ressources en eau sont utilisées en entrée des processus de production de toutes les activités industrielles (Milano, 2012). Au sein de la même industrie, les besoins en eau sont variables. Chaque process industriel exprime ses besoins : eau de chaudière, eau de refroidissement, eau de production et eau de nettoyage et engendre ses propres rejets.

Plus de 54% des entreprises en Algérie appartiennent à deux branches activité : l'agroalimentaire et les matériaux de construction. Elles représentent respectivement 39,4% et 14,8% en termes de nombre d'entreprises sur les 11 filières industrielles classées dans la catégorie de la grande industrie. Mais sur le plan des besoins en eau industrielle, la filière des Hydrocarbures est prédominante avec 58,5 hm³/an contre seulement 19,3 hm³/an pour l'agroalimentaire (PNE, 2010).

Eaux usées agricoles

Plus de 70 % des volumes totaux d'eau prélevés dans le monde sont consacrés à l'agriculture irriguée. 50 à 75% de la production agricole en Algérie provient des terres irriguées (FAO, 2007), qui consomme environ 5 379 hm³/an d'eau en irrigation évaluée en 2008 (PNE, 2010). 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.

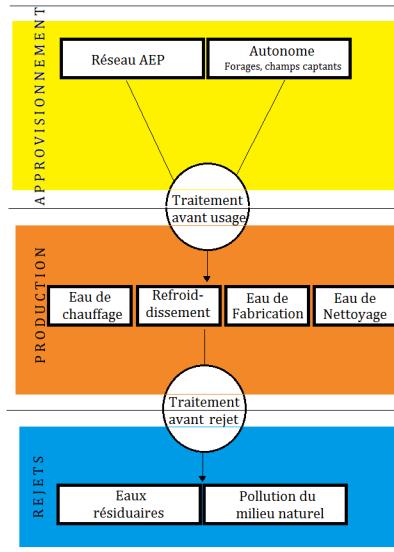


FIGURE 2.4 – Facteur eau dans les processus de production industrielle (Reynaud, 2000)

Résutilisation des Eaux Usées Épurées (REUE)

Elle permet :

- D'économiser les ressources en eaux conventionnelles ;
- De protéger le milieu récepteur, particulièrement les ressources en eaux de surface et souterraines, les zones humides, la mer, etc. ;
- D'atténuer l'impact de la sécheresse et de fournir des quantités supplémentaires d'eau.

Les principales utilisations sont :

- Utilisations urbaines : arrosage des espaces verts, alimentation de plans d'eau, fontaines,...,
- Utilisations agricoles : irrigation,
- Utilisations industrielles : eaux de refroidissement,
- Amélioration des ressources et de la qualité des eaux : protection contre l'intrusion marine par la recharge artificielle de nappes.

Parmi les contraintes générales de la réutilisation :

- La présence de sels, bore, sodium et surtout des micropolluants peut avoir des effets négatifs sur certaines cultures ainsi que sur le sol,
- Demande saisonnière pour l'irrigation et besoin de stockage,
- Problèmes de santé publique liés aux pathogènes éventuels dans les eaux,
- Les obstacles psychologiques et culturels et le besoin d'une acceptation publique de la réutilisation.

Eaux de drainage agricole

C'est une technique de gestion de l'eau et des sels en excès dans les systèmes irrigués, où le drainage est un élément clé dans la durabilité du système. Proche de la surface à la fin

| Catégories de réutilisations des eaux usées | Problèmes/limitations |
|--|---|
| Irrigation agricole | Pollution des eaux de surface et souterraines si gestion malavisée ; |
| Irrigation de cultures | Produits mal acceptés sur le marché ; |
| Irrigation paysagère | Incidences de la qualité de l'eau - notamment des sels - sur les sols et les cultures ; |
| Parcs et terrains scolaires | |
| Bandes de séparation des chaussées d'autoroute | Préoccupations de santé publique liées aux agents pathogènes (bactéries, virus et parasites) ; |
| Terrains de golf | Utilisation pour une région comportant une zone tampon ; |
| Ceintures vertes | |
| Immeubles résidentiels | Peut se traduire par un coût plus élevé pour l'utilisateur. |
| Recyclage et réutilisation industriels | |
| Eau de refroidissement | Constituants des eaux usées récupérées occasionnant entartrage, corrosion, proliférations d'organismes et salissures ; |
| Alimentation des chauffe-eau | Préoccupations sanitaires, notamment transmission d'agents ; |
| Eau à usage industriel | pathogènes par aérosols avec les eaux de refroidissement. |
| Secteur du bâtiment | |
| Recharge des nappes phréatiques | Produits chimiques organiques dans les eaux usées récupérées et leurs effets toxicologiques ; |
| Reconstitution des eaux souterraines | Solides en suspension, nitrates, et agents ; |
| Lutte contre l'intrusion d'eau salée | Pathogènes dans les eaux usées récupérées. |
| Lutte contre la subsidence | |
| Utilisations récréatives, Zones humides servant d'habitats | Préoccupations sanitaires en raison des bactéries et virus ; |
| Lacs et étangs | Eutrophisation due à l'azote et au phosphore dans les eaux réceptrices ; |
| Valorisation des marais | Toxicité pour la flore et la faune aquatiques. |
| Réalimentation des cours d'eau | |
| Pêche | |
| Lutte contre les incendies | Préoccupations de santé publique en raison des agents pathogènes transmis par aérosol ; |
| Climatisation | |
| Vidange des W-C. | Effets de la qualité de l'eau sur l'entartrage, la corrosion, les proliférations d'organismes et les salissures ; Liaisons croisées. |
| Aquaculture | |
| Production d'eau potable | Constituants dans les eaux usées récupérées. Notamment produits chimiques organiques en traces et leurs effets toxicologiques ; |
| Mélange pour les approvisionnements en eau | Acceptation au plan esthétique, adhésion de la collectivité ; |
| Apport d'eau en continu | Préoccupations sanitaires concernant la transmission d'agents pathogènes, en particulier de virus. |

FIGURE 2.5 – Catégories de réutilisations des eaux usées et limitations (Tchobanoglous et Angelakis, 1996)

de l'hiver, le niveau de la nappe gêne le développement des cultures (asphyxie racinaire), les pratiques culturales et/ou les apports d'intrants. Le sol souffre d'excès d'eau, ce que l'on contrecarre en utilisant des techniques de drainage : drainage de surface (rigoles, ados) ou drainage par fossés (drainage forestier) ou encore par tuyaux perforés, enterrés (drains).

Le drainage agricole peut se dérouler en procédant à un enlèvement naturel ou artificiel du surplus d'eau de surface et du sol (ressuyage), ainsi que de celui des sels dissous, afin d'en améliorer l'aération et favoriser la croissance des cultures. Dans le drainage naturel, l'eau en excès s'écoule des champs vers les lacs, les marécages, et les rivières. Dans un système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des conduits souterrains ou en surface.

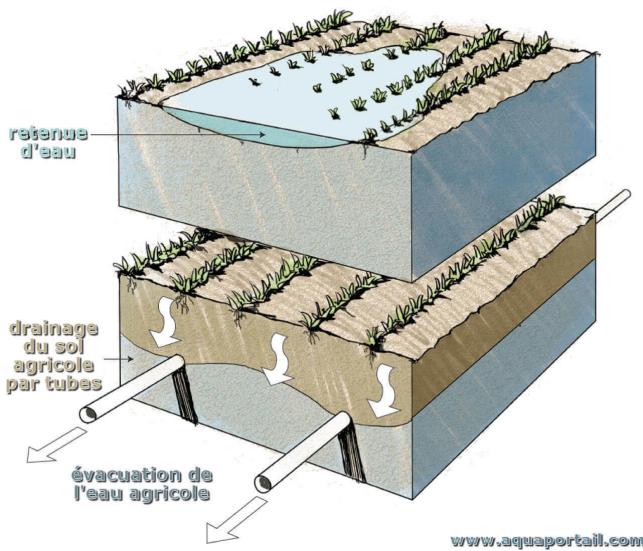


FIGURE 2.6 – Techniques de drainage des eaux agricoles

Le drainage recouvre plusieurs acceptions :

- un processus de transfert de l'eau, qui se raisonne à l'échelle du profil de sol ou du bassin versant,
- un ouvrage d'évacuation de l'eau en excès, qui concerne la parcelle ou un système de parcelles ou d'exutoires,
- un aménagement hydroagricole, qui s'insère dans un périmètre et s'apparente à l'assainissement agricole.

Les avantages de la réutilisation des eaux de drainage :

- disposer d'une source d'eau alternative pour augmenter les superficies irriguées,
- économiser les ressources conventionnelles,
- protection des milieux récepteurs (oueds, littoral, lacs).

Les eaux de drainage, dont leur salinité est élevée au niveau des drains principaux collecteurs, sont parfois polluées par les rejets des eaux de l'assainissement urbain et par les pesticides ; elles peuvent également véhiculer des agents pathogènes pouvant provoquer des maladies pour les cultures. Au Nord de l'Algérie, les agriculteurs réutilisent ces eaux d'une façon indirecte, en pompant l'eau dans les oueds et les cours d'eau utilisés comme exutoires, où sont déversées les eaux de drainage. C'est un mélange des eaux se trouvant dans les oueds et de celles du drainage agricole, on peut même observer dans certains cas des eaux de l'assainissement urbain et/ou industriel. Au Sud comme à Oued Righ et Ouargla, les agriculteurs utilisent ces eaux en la pompant des drains (secondaires ou du collecteur principal). À moyen terme, il est attendu 79,59 millions de m³/an d'eaux de drainage au nord et 169,84 millions de m³/an au sud, soit un total de 249,43 millions de m³/an. Les superficies susceptibles d'être irriguées sont estimées au nord à 16 853 ha, et au sud à 10 201 ha, soit un total de 27 054 ha.

Eaux de dessalement

On estime qu'un peu plus de la moitié de la population mondiale vit à moins de 100 km du littoral. Le dessalement apparaît ainsi comme un moyen de fournir efficacement de l'eau potable. L'eau douce issue du dessalement ne couvre qu'1 % des besoins mondiaux et environ 300 millions de personnes (pays du Golfe, Afrique du Sud, Australie, Californie et le bassin méditerranéen) en sont approvisionnés. Les enjeux climatiques, combinés à une forte croissance démographique, vont inévitablement faire augmenter le nombre de personnes dépendant de cet approvisionnement. Le dessalement de l'eau de mer est présenté comme la solution miracle à la rareté de l'eau douce.

Outre le fait qu'elle demeure financièrement inaccessible, ces technologies sont de grosses consommatrices d'énergie. Leur impact environnemental n'est pas négligeable comme les émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie, l'impact paysager des usines, les nuisances sonores mais surtout l'évacuation de la saumure ou des eaux résiduelles, les usines rejettent ces résidus en mer. Elles produisent 96 millions de m³/j d'eau douce pour près de 142 millions de m³ de saumure, soit 1L d'eau consommable se traduit par le rejet 1,5 L de saumure et des substances chimiques. Or ces rejets en mer ont pour conséquence d'augmenter la concentration de sel, elle-même responsable de la hausse de la température de l'eau et de sa désoxygénéation.

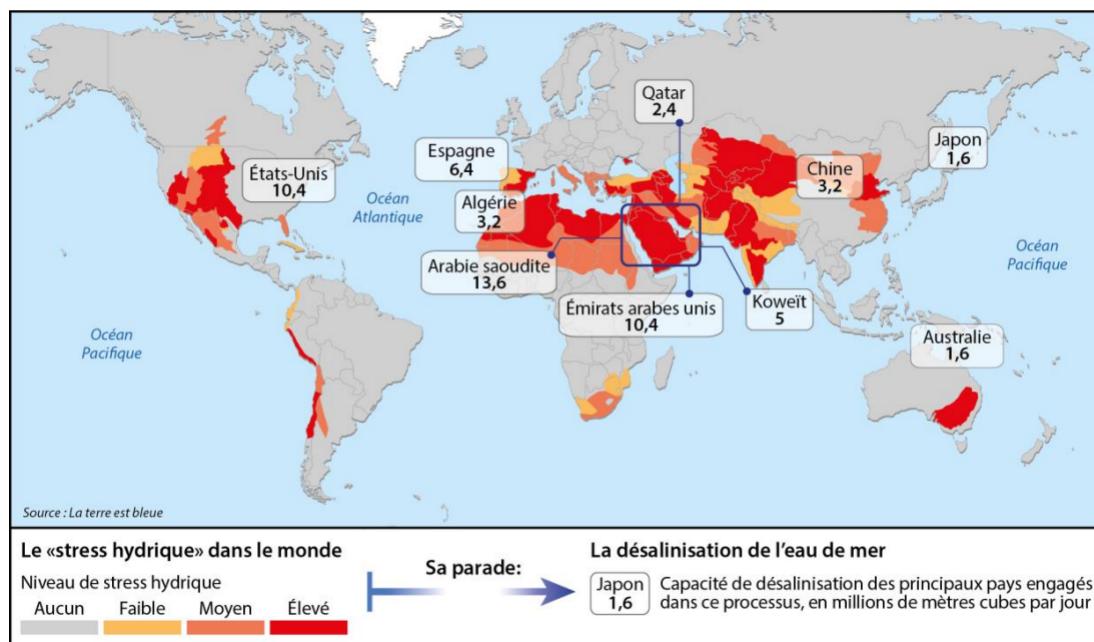


FIGURE 2.7 – Capacité de dessalement d'eau de mer dans le monde

En 2016, il existait 13 stations de dessalement d'eau de mer en Algérie d'une capacité de 2,3 millions m³/j, dont 11 réparties sur 14 wilayas côtières. Elles fournissent 17% de l'eau consommée et alimentent 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/j correspondant à une production de 810 millions de m³/an. La production d'eau par dessalement a augmenté à 3,8 millions m³/j en 2024 grâce à la mise en service de nouvelles stations.

Chapitre 3

Pollution des eaux

3.1 Familles des polluants

3.1.1 Polluants physiques

Il existe trois agents responsables de la pollution physique : la chaleur, la matière solide en suspension et la radioactivité. On parle de pollution physique lorsque le milieu aquatique est modifié dans sa structure physique. Il peut s'agir :

- d'un rejet d'eau usée qui fera augmenter la salinité de l'eau, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie qui fera changer sa température, car lorsque la température de l'eau augmente, la solubilité de l'oxygène diminue ;
- d'un rejet de liquide ou solide de substances modifiant la turbidité du milieu. On distingue les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères) et les matières non séparables (de même densité que l'eau). Mais aussi des matières inorganiques (argile, limon, précipités métalliques) et matières organiques (débris végétaux et animaux, microorganismes). Elles entraînent la diminution de la transparence, la diminution de l'oxygène et des végétaux, elles peuvent piéger des métaux lourds et des biocides ;
- La radioactivité naturelle de l'eau est liée à la nature géologique des terrains qu'elle traverse, le temps de contact, la température et la solubilité des éléments rencontrés.

3.1.2 Polluants minéraux

Sels minéraux

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, ils représentent des polluants majeurs. Les chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets urbains et industriels.

Nitrates et Nitrites

Le cycle de l'azote est composé de cinq étapes. La fixation est la transformation de l'azote moléculaire de l'air en ammoniac et en ions ammonium, N représente près de 80% de l'atmosphère, la nitrification est la transformation de l'ammonium en nitrites puis en nitrates, la dénitrification est la transformation des nitrates en azote moléculaire, l'assimilation est l'incorporation de l'azote des nitrates dans les acides aminés et l'ammonifica-

tion est la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal. Les nitrates produits peuvent subir une dénitrification et retourner dans l'atmosphère ; être assimilés et servir à la synthèse de composés organiques azotés ; être décomposés lors de l'ammonification et de la dénitrification avant d'entreprendre un nouveau cycle.

Mais les nitrates sont considérés comme un bon indicateur de pollution car son origine est pour l'essentiel externe (Plagnes, 2000). Ils sont chargés négativement et ils ne sont pas retenus par les colloïdes argileux ou organiques du sol, eux aussi chargés négativement : ils sont facilement dissous dans l'eau. L'apport des nitrates dans les eaux est lié à la quantité de matières organiques présente et au condition du milieu. Ils proviennent de la fertilisation excessive des zones agricoles par l'utilisation d'engrais azotés (Rodier, 1996), aux rejets des stations d'épuration. De plus, les systèmes de traitements des eaux usées déficients, tout comme la décomposition de matières organiques animales ou végétales issues de l'activité humaine, peuvent en être une source de contamination (Levallois et Phaneuf, 1994). Ces rejets d'azote sont assimilés à une pollution diffuse dans le cas d'élevage, ou à une pollution ponctuelle dans le cas d'élevage intensif ou de rejets d'excréments humains.

Les trois principaux processus identifiés dans la rétention de NO_3 dans les cours d'eau sont : l'absorption par les végétaux aquatiques (macrophytes), l'immobilisation dans les sédiments et la dénitrification (Birgand et al., 2007). Les macrophytes participent à l'élimination de l'azote des cours d'eaux, il représente 40 à 70% de la rétention en étiage (Jansson et al., 1994). Il en est de même pour le stockage et la rétention de l'azote dans les sédiments par immobilisation (Svendsen et Kronvang, 1993). De plus, les sédiments accumulés pendant la période de croissance des macrophytes sont remobilisés dans le cours d'eau lors de la sénescence et la décomposition de ces végétaux (Schulz et al., 2003). Enfin, la **dénitrification** qui est un processus d'élimination de l'azote. Le nitrate étant l'élément nutritif azoté principal des plantes qui l'absorbent, peut être dénitrifié, en condition anaérobie, par des bactéries utilisant alors l'oxygène de NO_3 pour leur respiration (Galbally, 1989). Le stade ultime de la dénitrification est N_2 , mais la réaction est souvent partielle, et conduit à l'émission de N_2O . Par opposition, la **nitrification**, où quand l'ammonium est oxydé par les bactéries nitrifiantes présentes dans le sol, en milieu aérobie pour donner du nitrate (Firestone et Davidson, 1989), qui est un composé plus facilement lessivable que NH_4 , car étant de charge négative, il n'est pas retenu par le sol et entraîner la volatilisation de N_2O .

Métaux lourds

Ils ont une *origine naturelle*, présents dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelier et Berthelin, 1998). Leur concentration dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge et une *origine anthropique*, liée aux activités agricole, industrielle, minière et métallurgique. Dans les eaux naturelles, ces éléments sont présents en traces, soit dissoutes dans l'eau où leur solubilité dépend de leur état d'oxydation, de la présence d'anion en solution (S^{2-} , CO_3^{2-} , OH^-) ainsi que du pH. Plus le pH est faible, plus la solubilité des métaux est élevée, soit adsorbées sur les matières en suspension et/ou les sédiments. Leur concentration est inférieure à 0.1 mg/l mais présentent un risque écotoxicologique (OMS, 1994). De l'équilibre entre les formes libres et fixées de l'ion va dépendre sa biodisponibilité, liée à sa toxicité. Leur biodisponibilité varie en fonction de la capacité d'échange de cation (CEC), du pH, du potentiel redox, de la teneur en phosphate, de la teneur en matière organique et des activités biologiques.

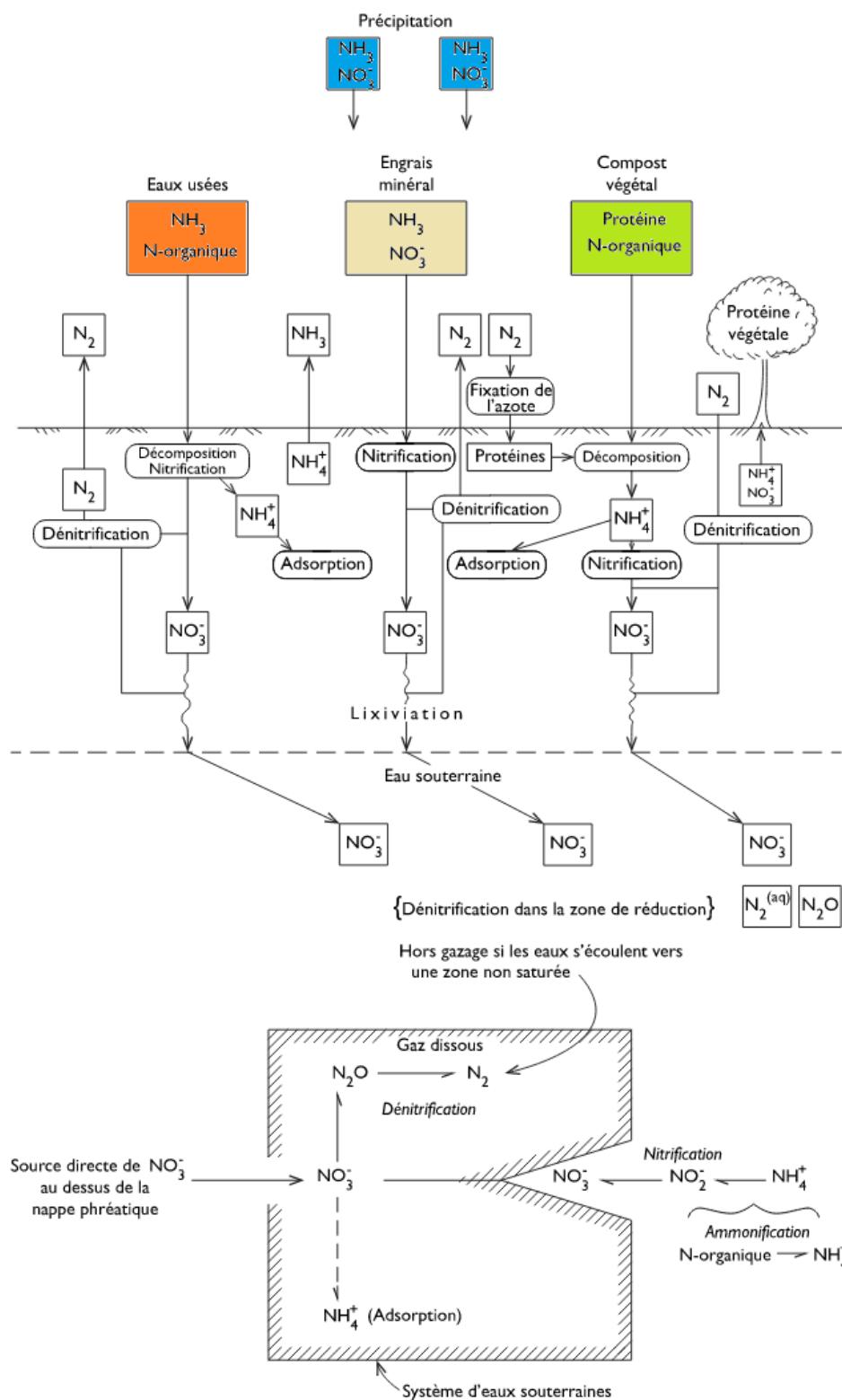


FIGURE 3.1 – Sources et cheminement de l'azote dans l'environnement souterrain. Entrée d'azote et transformation dans les eaux souterraines

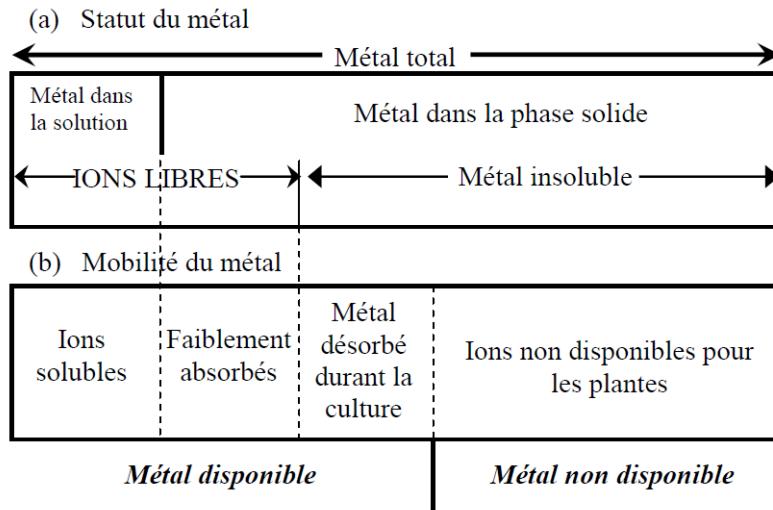


FIGURE 3.2 – Schéma illustrant la mobilité des métaux lourds (D'après Shallari, 1997)

3.1.3 Polluants organiques

Biotoxines

Les **mycotoxines** sont des produits du métabolisme secondaire de moisissure toxiques (Amiard, 2011), générant des substances cancérogènes comme les aflatoxines (*Aspergillus*) et l'ochratoxine A.

Les **phycotoxines** sont des toxines produites par des espèces phytoplanctoniques qui prolifèrent en formant le bloom algal rendant les eaux rouges, brunes ou vertes.

Les **cyanobactéries**, sont des microorganismes procaryotes à pigments bleus photosynthétiques produites par les algues bleues, rencontrées dans les approvisionnements d'eau de surface (Barrages d'eau). Se proliférant sous forme de films bleutés à la surface de l'eau (Amiard, 2011), peu profonds, tièdes et calmes ou immobiles.

Biocides

Des produits phytosanitaires utilisés pour protéger les cultures des maladies végétales, des mauvaises herbes et des organismes vivants ravageurs. Ce sont des insecticides, fongicides, herbicides, raticides, algicides, rodenticides (lutte contre les rongeurs), nématocides (lutte contre les vers) et acaricides. Les pesticides les plus utilisés sont :

- Les **pesticides organochlorés**, Le DDT, l'HCH, le lindane, l'aldrine, la dieldrine. Ils possèdent un ou plusieurs atomes de chlore. Ils ont une rémanence importante.

- Les **organophosphorés**, le parathion, le malathion, ils dérivent de l'acide phosphorique (phosphate, phosphonate, halogénatephosphoramido), leur rémanence est moins importante.

- Les **carbamates**, L'aldicarbe est très soluble, on le détecte souvent dans les nappes aquifères. En plus de la chloralose (coricide), la strychnine (taupicide et raticide), on cite les dérivés de l'arsenic (anhydride arsénieux et arséniates), les organomercuriels et les sels de cuivre (sulfate de cuivre, oxyde de cuivre).

Hydrocarbures

- **Hydrocarbures ou huiles minérales**, incluant les alcanes (hydrocarbures aliphatiques) constitués de chaînes linéaires ou ramifiées comprenant cinq atomes de carbone et les hydrocarbures aromatiques monocycliques (benzène, toluène, xylène) ou polycycliques (Benzo(a)pyrène).

- **Hydrocarbures aromatiques et halogènes volatils**, les hydrocarbures halogénés volatils (COV), les chlorofluorocarbones (CFC) et les hydrocarbures aromatiques volatils (CAV ou BTEX) constituent la famille de composés dont les propriétés physico-chimiques sont très hétérogènes.

3.1.4 Polluants microbiologiques

- Les *virus* sont des parasites intracellulaires, spécifiques à l'espèce de bactéries infectées (bactériophages, cyanophages), plantes (affectant les récoltes), animaux et homme (grippe). Ils sont abondants dans l'air, l'eau (10^6 /mL), les sols. Dans l'eau, la majorité des virus ne sont pas des pathogènes, mais certains sont transmis par l'eau (MTH).

- Bactéries hétérotrophes, une abondance dans l'eau (10^4 – 10^6 /mL), dans les sédiments (1 – 60.10^9 cellules/g poids sec), liée à l'apport en matière organique. Ce sont des cellules individuelles, sur des particules, matières fécales, interface air-eau, surfaces externes et internes des animaux et plantes, dans les sédiments (énumération 1 – 60.10^9 cells/g poids sec).

- Les *bactéries photosynthétiques anoxygéniques*, utilisent H_2S comme source d'électrons, ou précipitent le soufre élémentaire et les *Bactéries photosynthétiques oxygéniques* représentées par les Cyanobactéries.

3.1.5 Polluants pharmaceutiques

Les principales sources des antibiotiques sont les sites de production, la médecine hospitalière et la médecine vétérinaire et l'assainissement urbain. Leurs effets environnementaux sont les perturbations écologiques des micro-organismes, permettant la minéralisation des matières organiques dans les eaux, les sédiments, les sols.

3.2 Types de pollution

3.2.1 Pollution agricole

Les techniques de fertilisation non-contrôlées des sols, de protection des plantations et l'élevage intensif sont à l'origine de la dégradation des eaux. Les exploitants agricoles manipulent des produits à composés toxiques épandus sur des parcelles contaminant le sol et l'eau. Ces intrants fertilisants contiennent des impuretés métalliques et métalloïdes toxiques (Amiard, 2004), du cadmium qui provient des engrains phosphatés, du cuivre, du zinc, du fer, du bore et du manganèse qui proviennent des fertilisants organiques. Les grandes familles de pesticides sont :

Engrais NPK (Engrais ternaires)

Les fertilisants sont catégorisés selon leur taux d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K). Utilisés une année après l'autre, ces éléments seraient charriés par l'eau

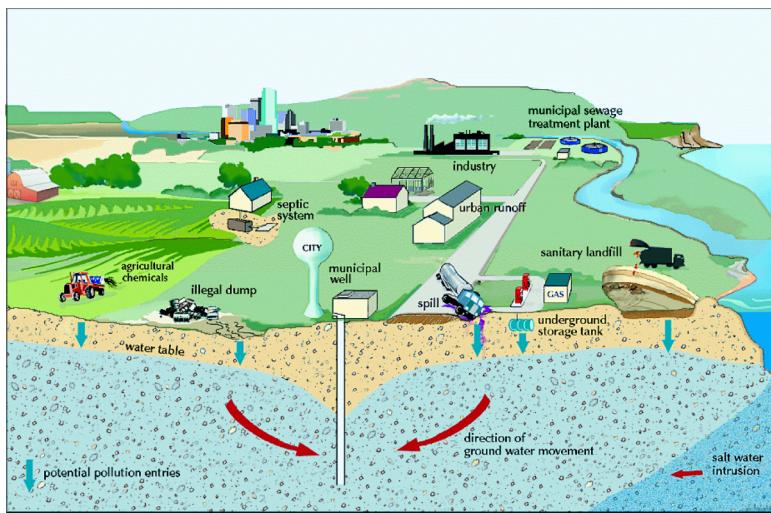


FIGURE 3.3 – Sources de contamination des eaux souterraines

de pluie et de ruissellement et infiltrée vers la nappe où ils pourront migrer dans le sens d'écoulement. L'azote dans sa forme NO_3 est celui qui cause le plus couramment la contamination des eaux souterraines, plus mobile dans les nappes d'eau que le phosphore.

Pesticides

Les fongicides désignant les produits s'attaquant aux champignons parasites des cultures, des produits fongicides qui tuent le champignon. Les insecticides utilisés pour la lutte contre les insectes (larves, adultes ou imago, nymphes). Les nématicides et rotenticides utilisés pour la lutte contre les nématodes (larves, adultes ou imago, nymphes), qui sont des vers qui pénètrent ou mangent les racines.

Transfert et mobilité des produits phytosanitaires

Une forte partie des produits phytosanitaires n'atteint pas sa cible, la plante à protéger (Colin, 2000 ; Pimentel, 1995) et qui se retrouve dans l'air, sur le sol ou dans les hydro-systèmes. Ils sont soumis à plusieurs processus (Thiollet-Schooltus, 2004) :

- la dégradation (air, sol, eau), les liaisons chimiques entre les atomes qui les constituent peuvent être détruites par photodégradation par les rayons ultraviolets (Marchetterre et al. 1988) ;
- la rétention dans le sol jusqu'à la formation de résidus car avant leur dégradation, des molécules peuvent être adsorbées par le complexe argilo-humique du sol ;
- la mobilité et le transport vers l'air par volatilisation ou vers la nappe d'eau par lixiviation ou ruissellement.

L'apport d'engrais azotés représente la principale source de contamination par les nitrates (Banas, 2005), soit sous forme de nitrates assimilables par la plante et plus lessivable, soit sous forme d'urée, d'ammonium ou de lisier, transformés en NO_3 . Cette contamination est rarement signalée à des profondeurs de plus de 10 à 100 m environ en dessous du niveau de la nappe. Avec le temps, cependant, la contamination par NO_3 peut s'étendre à de plus grandes profondeurs dans des régions où il y a un flux descendant significatif de ces éléments. NO_3 dans les puits profonds de Californie (de 240 à 400 m) augmentait de 1 mg/l en 1950 à 10-17 mg/l en 1962 (Broadbent, 1971). Dans la mesure

où la dénitrification se produit lorsque l'eau ruisselle le long des pistes, l'incertitude dans la prédiction des augmentations de long terme du NO_3 est majeure.

Leur transfert vers les eaux de surface se fait par ruissellement, transportés soit en solution dans l'eau qui ruisselle, soit accrochés à des particules de sol (Leonard, 1990). En l'absence de zones d'infiltration, les substances actives se retrouveront dans les eaux de surface. Ce transfert dépend des conditions de milieu comme la pente ou la matière organique sur laquelle peuvent se fixer les molécules phytosanitaires (Leonard, 1990 ; Van Der Werf, 1996). Ensuite, leur transfert vers les eaux souterraines ou lixiviation, concerne les molécules en solution dans la phase aqueuse du sol ou celles adsorbées sur les particules solides véhiculées par un flux d'eau vertical. Ces transferts de solutés varient en fonction des caractéristiques du produit phytosanitaire, des propriétés du sol et de leur capacité de rétention, de la vitesse d'infiltration et de l'épaisseur de la zone non-saturée (Van Der Werf, 1996) et des possibilités de piégeage et de relargage en fonction du contexte hydrogéologique et des situations hydrologiques (battement de la nappe).

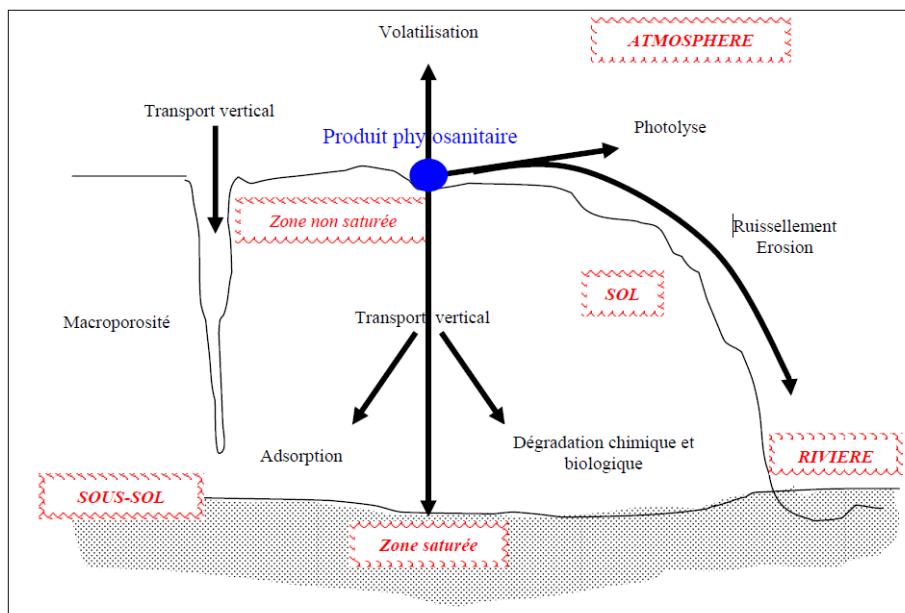


FIGURE 3.4 – Transferts et dégradations d'un produit phytosanitaire sur le sol après une application sur une parcelle agricole (Banton et Bangoy, 1997 ; Pierre, 1987).

La maîtrise des pollutions agricoles est complexe car elles ont un caractère diffus et proviennent de zones mal identifiées, à des périodes indéterminées sans calendrier agricole. Elles sont émises sur de grandes surfaces et transitent vers l'eau souterraine, son exploitation serait compromise pour de longues périodes. Les pratiques agricoles d'un bassin versant ont un effet différé sur la qualité de ses ressources en sol et en eau. La pollution agricole dépend de la nature et la structuration du sol, du type cultural, du degré de fertilisation, de la profondeur de la nappe. La réduction ou la suppression des fertilisants peut affecter la performance économique des exploitations puisque ils conditionnent les rendements. Cependant, comme les normes de potabilités des eaux sont strictes qu'il est nécessaire de revoir les pratiques de fertilisation et les choix culturaux ou alors opter pour l'agriculture biologique.

3.2.2 Pollution urbaine

La diversité et le nombre élevé des sources de pollution caractérisent les environnements urbains. La superposition de nombreuses infrastructures en milieu urbain complexifie la caractérisation des aléas. Les rejets urbains dépendent de la population, sa densité et de son taux de raccordement au réseau d'assainissement. En effet, les activités urbaines et les contaminants associés se distinguent par leur forte densité spatiale. Localiser ces sources, les quantifier et évaluer leur impact sur la qualité des eaux est fondamental. Les rejets urbains d'origine ménagère sont issues des grandes agglomérations urbaines, ce qui implique des contours de pollution définis. Cependant, la dispersion de l'habitat en milieu péri-urbain et rural rend la tâche plus compliquée surtout si les réseaux d'assainissement et d'AEP sont défaillants.

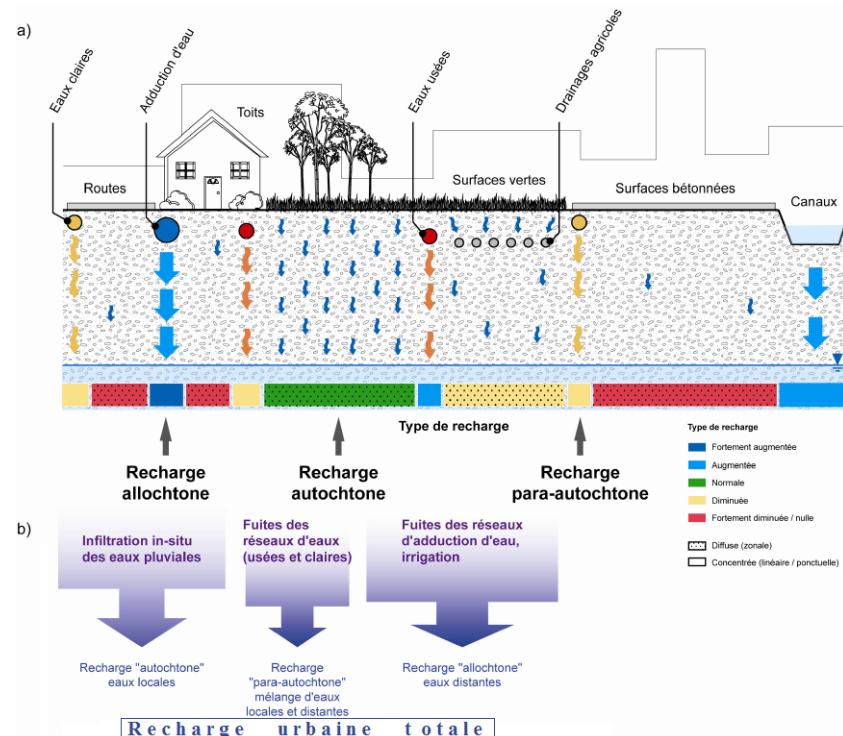


FIGURE 3.5 – Aspects de la pollution urbaine via la recharge

Le milieu urbain présente une hydrogéologie spécifique, et le cycle de l'eau se trouve perturbé. La présence de surfaces imperméabilisées (bâtiments, routes) modifie la configuration du ruissellement et l'infiltration des eaux pluviales, alors que la densité élevée de conduites en sous-sol peut augmenter la recharge de la zone saturée (exfiltration), ou inversement drainer les eaux souterraines hors du système hydrogéologique. On peut donc résumer les sources de pollution directe en milieu urbain dans :

- les fuites des réseaux d'assainissement et les fosses septiques,
- les rejets directs avec ou sans traitement préalable dans le réseau hydrographique,
- les eaux de surface et l'infiltration à partir des rivières polluées,
- le ruissellement urbain, les déchets solides et décharges municipales,
- l'intrusion saline,
- les pesticides et les produits phytosanitaires,
- le lessivage de la ZNS lors de la remontée piézométrique (Boubakar Hassane, 2010).

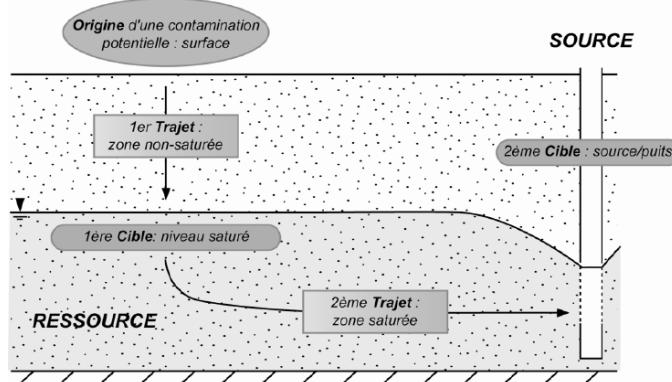


FIGURE 3.6 – Les trajets d'une contamination ponctuelle dans le sous-sol

Le mélange des eaux d’égouts, riches en composés organiques, et de l’eau chlorée du réseau AEP peut conduire à d’autres types de pollution par des composés chlorés et l’apparition de maladies à transmission hydrique. Les principaux types de polluants des eaux souterraines d’origine urbaine sont :

- les polluants microbiologiques issus des eaux vannes, des déjections humaines et animales ;
- les polluants inorganiques (sels et ions métalliques), présents dans les sols, et contenus dans les eaux usées ;
- les polluants chimiques organiques et les polluants radioactifs, présents ou issus des déchets.

Le repérage des lieux de rejet, le suivi de la qualité des eaux usées et la cartographie de vulnérabilité s’avèreraient utiles dans les études de qualité. Il n’en demeure pas moins que le cadastre des rejets urbains a pour but de connaître les volumes d’eaux usées produits.

3.2.3 Pollution industrielle

Les industriels sont confrontés à deux principales contraintes, dans la gestion du volume et des charges polluantes issus de leur production et la gestion de l’eau (identification des besoins, l’origine et la qualité de l’eau utilisée). L’industrie laitière génère d’importants effluents d’eau responsables de la pollution organique et nécessitent un traitement en STEP avant leur rejet (Balannec et al., 2010). Deux types de liquides sont produits : les eaux de nettoyage et les résidus générés par la transformation du lait appelés Lactosérum. Ils présentent une charge organique en DCO (4000-7500 mg/L) et en DBO5 (2500-4800 mg/L) très élevée avec une moyenne de 300 mg/L pour les effluents domestiques en termes de DBO5. Leur pH est très variable pouvant osciller entre 3 et 11. Le lactosérum produit est déversé en Algérie sans traitement dans les réseaux d’assainissement.

Par ailleurs, les nombreuses huileries produisent des effluents hautement riche en margine, ce sont des effluents d’extraction de l’huile d’olive. Les margines sont rejetées le plus souvent dans des récepteurs naturels sans contrôle préalable (Hormis leur décantation). Il existe 438 huileries à Béjaia produisant 670 140 m³/an de margines, soit un volume de 1530 m³/an pour chaque huilerie. Des bassins de décantation existent mais uniquement dans 209 huileries, soit 48% d’huileries équipées. Les effluents de margine ont une forte charge saline et sont très acides (pH de 4.5 à 5), riches en matières organiques et en polyphénols peu dégradables. A cet égard, les margines sont des composés difficiles à épurer

par dégradation biologique naturelle, la présence de composés phénoliques et des substances phytotoxiques et antimicrobiennes (Phénols, acides gras volatiles et insecticides) en est responsable de cette persistance (Belaïd et al, 2002). Ces eaux ont une conductivité de 10 mS/cm. Les rejets sont composés de 82 % d'eau, de 15 % de substances organiques, de 1.8 % de substances minérales et de 1.25 à 2.4 % de matières azotées totale. Leur très forte charge en matières organiques (Azote, phosphore, potassium et magnésium) empêche ces eaux de s'auto-épurer. Sous l'action des micro-organismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans les oueds, les ions minéraux induits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques et altèrent la production d'eau potable.

Certains exploitants agricoles utilisent les margines comme produit d'épandage. Comme elles sont très riches en éléments azotés, leur épandage pollue les sols et la nappe. Leurs lipides forment un film imperméable à la surface des oueds en empêchant la pénétration de la lumière et l'oxygène. Les acides, les éléments minéraux et les substances organiques contribuent à une destruction de la capacité d'échange cationique du sol, la fertilité du sol se réduirait. La microflore bactérienne du sol peut être détruite suite à l'acidification du milieu (pH à 4.5). Le caractère visqueux des margines entraîne la formation d'un dépôt huileux qui provoque l'imperméabilisation du sol et son asphyxie.

3.2.4 Pollution bactériologique

La pollution par micro-organismes provient des égouts, ces micro-organismes prolifèrent à leur arrivée dans le milieu aquatique. Un égout rejette des déchets organiques, des détergents (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau salée ou turbide (pollution physique). Les micro-organismes responsables d'infections peuvent être saprophytes, opportunistes ou pathogènes. Ils provoquent ainsi des maladies infectieuses qui sont dues à une qualité médiocre de l'eau, de l'assainissement et à des problèmes d'hygiène. En effet, la contamination est la conséquence de la mise en contact d'eaux usées et d'eaux destinées à la consommation. Une inondation qui fait déborder les égouts pollue les réservoirs d'eau potable véhiculant des bactéries de contamination fécale, la jonction accidentelle entre les installations de distribution d'eaux potables et le réseau des eaux usées et la remise en service de canalisations après un arrêt prolongé.

Eaux de boisson

Aucun micro-organisme pathogène n'est toléré, les recommandations microbiologiques se fondent sur le nombre de germes aérobies mésophiles ainsi que sur la présence de micro-organismes indicateurs d'une contamination fécale tels que les Escherichia Coli, les entérocoques et coliformes totaux. Les eaux de boisson ne doivent pas contenir plus de 100 germes aérobies mésophiles/ml, aucun Escherichia coli ni entérocoque par 100 ml. Mais les coliformes totaux ne sont pas tous d'origine fécale. Ils ne sont donc pas indicateurs d'une pollution fécale. Les streptocoques fécaux sont d'origine humaine et peuvent être trouvées dans les fèces animales, ou sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale surtout l'Escherichia coli, et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Abondant dans les fèces humaines (jusqu'à 1 milliard de bactéries par gramme de matière fraîche), assez persistant pour être recherché (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie de 1 semaine à 1 mois), sa présence indique une contamination fécale récente.