

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Frères Mentouri Constantine 1

Département Biologie & Écologie Végétale

Niveau Master 1 Écologie Fondamentale & Appliquée

Cours de pollution des eaux

Dr-HDR-TOUATI Laid

Année universitaire : 2020/2021.

Chapitre 1. Pollution des eaux

1.1. Historique :

Pendant des millénaires, les causes de pollution la contamination localisée des eaux superficielles et des nappes phréatiques par des bactéries pathogènes et des substances fermentescibles introduites dans les réseaux hydrologiques par les déchets domestiques, problème toujours aigu dans les pays en développement où ces pollutions restent une cause de morbidité grave : salmonelloses, hépatites virales ou choléra en sont des exemples.

Au cours du XIX^e siècle, la mutation industrielle a exacerbé les besoins énergétiques, faisant d'abord appel pour les couvrir au charbon puis au pétrole, de sorte que les combustibles fossiles devinrent la source d'innombrables pollutions de l'air, de l'eau et des sols, depuis le stade de leur extraction jusqu'à celui de leur utilisation.

Avec le développement de la civilisation technologique contemporaine se sont ajoutées aux anciennes causes de contamination de l'environnement par les résidus des activités humaines des causes nouvelles liées, par exemple, à la spectaculaire croissance de la chimie organique de synthèse et, depuis les années 1960, à celle de l'énergie nucléaire

Divers facteurs de nature socio-économique ont aggravé les problèmes de pollution. En premier lieu, l'urbanisation accélérée des pays industrialisés a eu pour corollaire une concentration incessante des industries et de l'habitat, multipliant les sources de contamination de l'environnement et les causes de nuisances.

Vingt-deux millions de molécules sont connues par les chimistes, qui en créent 4000 nouvelles chaque jour. Sur les 4300 médicaments différents s'ajoutent 23 nouveaux principes commercialisés chaque année. Le cocktail des molécules utilisées n'a donc pas fini de s'agrandir.

Seules ou en synergie avec d'autres, des combinaisons conduisent à ce que l'on appelle « l'effet cocktail », elles auront des effets que nous nous devons de quantifier, au fur et à mesure de la mise au point de méthodes analytiques adaptées, et de limiter en fixant des seuils de concentrations à ne pas dépasser.

La grande difficulté pour protéger l'environnement est donc d'évaluer l'impact réel que peuvent avoir les nombreuses substances qui ont été fabriquées pour améliorer notre confort de vie.

1.2. Les ressources en eau :

L'eau est très présente sur notre planète. Ainsi, vue de l'espace, la Terre apparaît bleue, les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). La totalité de l'eau sur Terre représente un volume d'environ 1,4 milliard de km³, disponible sous forme liquide, solide ou gazeuse. Cependant, la majeure partie de l'eau (97 %) est contenue dans les océans, et est salée, ce qui la rend inutilisable par l'Homme. L'eau douce ne représente que **3%** de l'eau sur Terre, et concerne :

- ✓ Pour la majeure partie, les glaciers de montagne, et les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique (près de 2 %) ; les eaux douces souterraines (moins de 1 %, toutes les eaux souterraines ne sont pas douces, la majorité est salée) ;
- ✓ les eaux de surface (cours d'eau, sols gelés, marécages et lacs d'eau douce : 0,03 %) ;
- ✓ l'atmosphère (0,001%) ;
- ✓ les êtres vivants (0,0001%).

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie. D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson.

- La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière.
- En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé.
- Si la quantité globale d'eau douce disponible chaque année sur l'ensemble de la planète est importante, localement les situations sont très contrastées car l'eau douce est répartie de manière très inégale sur notre globe. Dans certaines régions, l'eau coule d'abondance, pour le régal des riverains, dans d'autres cependant la sécheresse domine **(Figure 1)**.



Figure 1. Le désert du Namib, zone aride de la région côtière de la Namibie, en Afrique australe, baignée par l'Atlantique. Flamants roses au pied des dunes du littoral. © CNRS/A.

R. Devez.

Une quantité faible de l'eau douce:

- doit pourtant satisfaire l'ensemble des besoins en eau de l'humanité, pour les usages domestiques, l'agriculture, la production industrielle, l'énergie...
- La répartition et le partage de l'eau peut conduire, dans certains pays, à des situations de tensions sur les ressources;
- ✓ depuis des siècles, l'eau est à l'origine de conflits entre les peuples;

✓ elle pourrait faire l'objet de plusieurs guerres au cours du XXI^{ème} siècle.

Le slogan *"l'eau, c'est la vie"* trouve sa pleine acception dès lors que l'on admet avec Joël de Rosnay (1990) que *"l'eau est beaucoup plus qu'une simple denrée nécessaire aux sociétés humaines. C'est un milieu de communication essentiel à la vie planétaire, la sève de la terre, le patrimoine commun des espèces vivantes"*.

Les problèmes de l'accumulation des polluants dans les **"réservoirs naturels"** se posent, à diverses échelles d'espace et aux conséquences quasi inconnues car n'apparaissant que graduellement dans le temps (**Figure 2**).

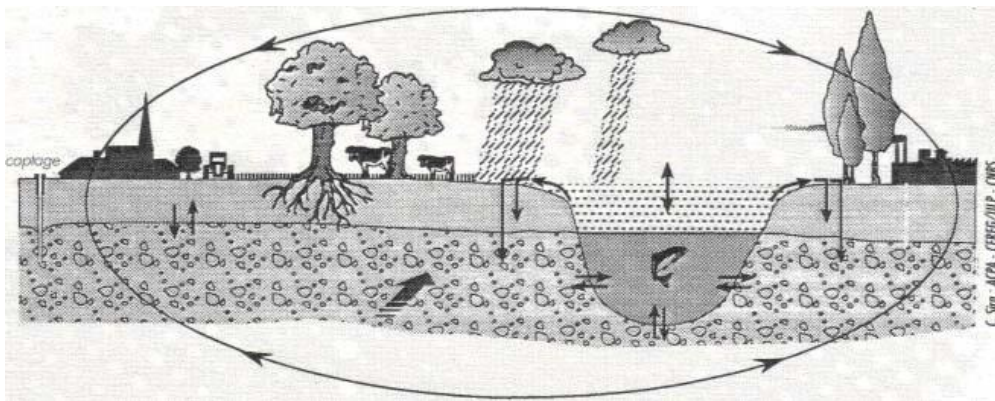


Figure 2. Cette illustration fait apparaître (flèches) les zones de "contacts" entre cours d'eau et nappe, entre aquifère saturé et sol aéré. Milieux de transition entre compartiments de l'hydrosystème, ces "interfaces" à fort gradient hydraulique jouent un rôle clé dans la protection et la gestion des ressources en eau, menacées par les impacts négatifs des activités humaines.

1.3. Pollution des ressources en eau

1.3.1. Écosystèmes aquatiques

Le terme **d'écosystème aquatique** recouvre une grande diversité de milieux, tous caractérisés par l'omniprésence de l'eau (douce ou salée, vive ou lente) comme tout écosystème, ce sont

des ensembles environnementaux structurés dans lesquels se produisent des échanges de matière et d'énergie dus aux interactions entre les organismes vivants (biocénose) et leur habitat (biotope).

La biocénose des écosystèmes aquatiques est très diverse puisque, au sein d'un même écosystème, différentes zones de peuplement apparaissent en lien étroit avec les conditions physiques du milieu (la profondeur et la luminosité dans les lacs, le courant dans les cours d'eau).

D'une manière générale, le développement des êtres vivants est dépendant de la croissance des végétaux qui, grâce à la photosynthèse, peuvent produire leur matière organique à partir des matières minérales du milieu et du CO_2 atmosphérique en utilisant l'énergie lumineuse.

Les microalgues ou phytoplancton appartiennent à ce groupe des producteurs primaires et servent de nourriture aux herbivores (le zooplancton) qui alimentent à leur tour les carnivores.

Une telle chaîne trophique peut s'illustrer sous forme de la pyramide écologique (**Figure 3 & 4**).

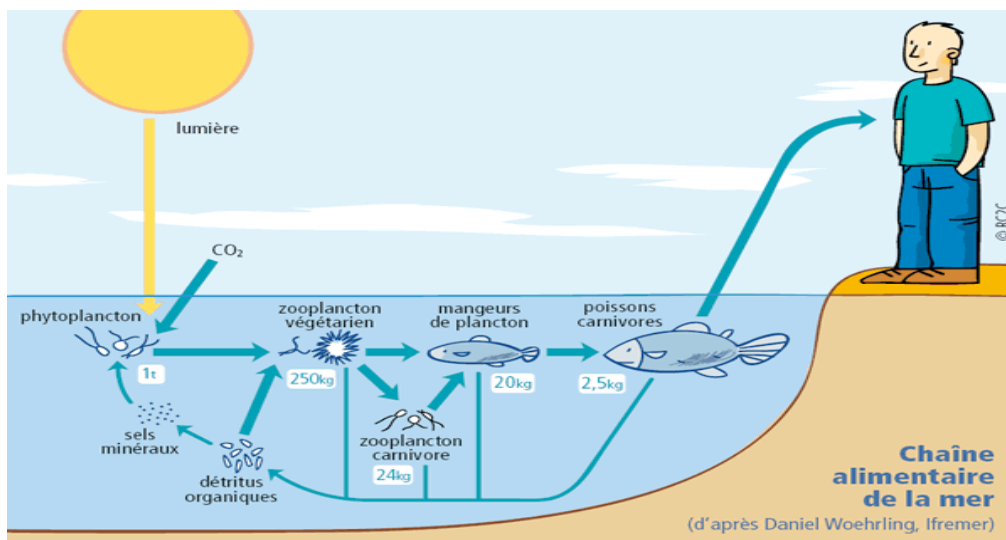


Figure 3. Fonctionnement d'une chaîne alimentaire.

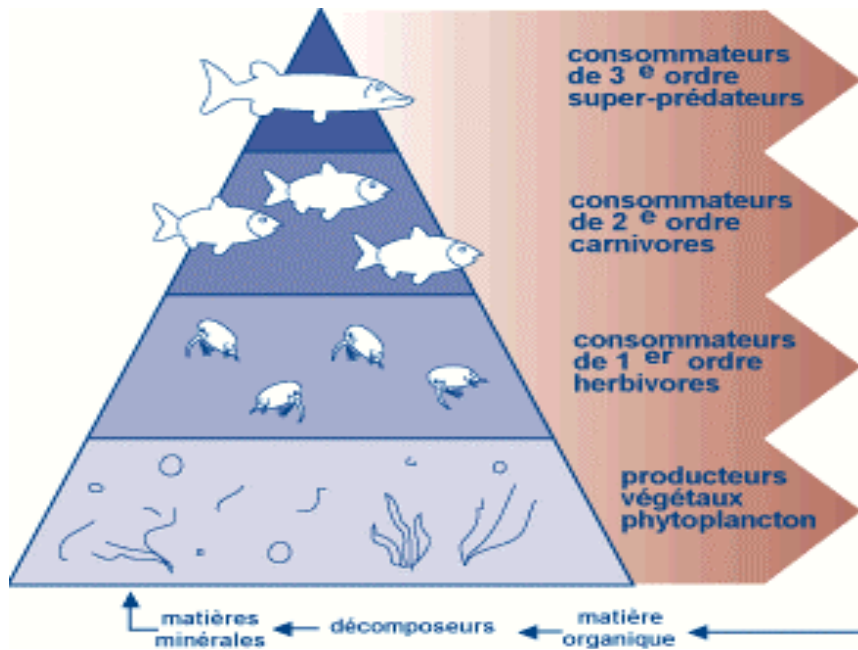


Figure 4. Pyramide écologique d'un écosystème aquatique.

1.3.2. Pollution des ressources en eau

- **Définition de la pollution**

Ainsi, l'une des premières définitions, à la fois moderne et scientifique, de la pollution est celle donnée par 'The Environmental Pollution Panel President's Science Advisory Committee (1965)':

« La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'Homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau ou autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature ».

Aussi, Ramade (2007) redéfinit :

« Constitue une pollution toute modification anthropogénique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction de substances chimiques artificielles; toute perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière, ou encore toute altération d'une biocénose naturelle provoquée par l'introduction d'espèces exotiques invasives ».

- ✓ La pollution se définit comme la dégradation d'un milieu naturel par introduction d'un polluant.
- ✓ Cette notion de dégradation est très importante, puisqu'en l'absence de conséquences négatives pour le milieu, on ne peut pas parler de pollution
- ✓ Concrètement, pour une même substance, son caractère polluant sera plus ou moins élevé en fonction des quantités déversées dans le milieu et de la capacité de ce milieu à l'éliminer naturellement.
- La pollution est multiple et on parlera "**des pollutions de l'eau**". Elles se distinguent grosso modo par:
 - leurs **causes** (accidents, éliminations de déchets et résidus, sollicitations excessives du milieu naturel, ...),
 - leur **nature** (physique, chimique, bactériologique, radioactive, ...)
 - leur **ampleur** (locale ou étendue, occasionnelle ou saisonnière) dans l'espace et dans le temps.
- Certaines pollutions seront appelées "**diffuses**" à l'exemple de pollutions "**salines**" sur des régions entières (pollutions par les nitrates, les chlorures, les sulfates).

1.3.2. Les différents types de pollution

L'eau est une ressource indispensable aux activités humaines mais elle constitue également un lieu de vie privilégié. A cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques (les eaux continentales ou océaniques) sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques.

En rejetant des effluents contaminés dans le milieu aquatique, les activités humaines industrielles, agricoles ou urbaines polluent les eaux. On peut distinguer trois grandes familles de pollution, la pollution physique, chimique et biologique (**Tableau 1**).

- Le déversement dans le milieu aquatique de substances ou d'effluents contaminés n'est pas la seule cause de pollution des eaux de surface ou souterraines.
- En effet, l'eau de pluie permet aux polluants rejetés dans l'atmosphère de retomber sur les sols et lessive les zones polluées par ruissellement et/ou infiltration, ces xénobiotiques peuvent alors rejoindre le milieu aquatique.

La pollution des eaux de surface s'est très diversifiée à partir de nombreuses activités humaines comme la déforestation, l'érosion due aux activités humaines, la construction de barrages, la canalisation de rivières, le comblement de zones humides, l'extraction de granulats.

1.3.2.1. Pollution biologique

Par définition, une pollution biologique est issue du milieu lui-même. C'est par le surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux micro ou macroscopiques qu'un déséquilibre du milieu environnant peut entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents. Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine: enrichissement en nitrates d'un milieu (rejets organiques), développement de virus,

de bactéries, modification de la température d'un milieu (rejet d'eau chaude), introduction d'espèces invasives, etc...

Tableau 1. Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines (Lévêque, 1996).

Type de pollution	Nature	Source ou agent causal
Physique:		
Pollution thermique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques
Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installations nucléaires
Pollution mécanique	Matières en suspension	Eaux résiduares industrielles
Chimique:		
Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives
Métaux et métalloïdes	Mercuré, cadmium, plomb Aluminium, arsenic	Industries, agriculture, pluies acides, combustion
Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides	Agriculture, industries
Organochlorés	PCB, solvants	Industries
Composés organiques de synthèse	Nombreuses molécules	Industries
Détersifs	Agents tensio-actifs	Effluents domestiques
Hydrocarbures	Pétrole et dérivés	Industrie pétrolière, transports
Biologique:		
Matières fermentescibles	Glucides, lipides, protéines	Effluents domestiques, agricoles, agro-alimentaire
	Ammoniac, nitrates	Elevages et piscicultures
Pollution microbiologique	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et d'élevages
Espèces invasives	Espèces végétales, espèces animales, OGM	Jardins botaniques, laboratoires de recherche

- **Pollution organique**

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives.

- **Pollution microbiologique**

- ✓ La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de microorganismes qui sont véhiculés par l'eau et sont responsables de beaucoup de maladies hydriques (**Figure 5**).
- ✓ L'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles à la santé humaine des populations qui l'utilisent pour leurs besoins.
- ✓ Les bactéries pathogènes (*Vibrionacea*, *Enterobacteriaceae*, etc...) sont responsables des principales maladies hydriques.
- ✓ Les parasites sont eux aussi la cause de plusieurs autres maladies (hépatite infectieuse, méningite, etc...).



Figure 5. Sources de contamination et transfert jusqu'au milieu littoral.

- **Les espèces invasives**

La pollution biologique est l'introduction d'espèces exogènes (végétales ou animales) ou d'organismes génétiquement modifiés dans un milieu. Ainsi que les modifications environnementales qui aboutissent à une modification des peuplements.

Exemple:

Les ragondins (*Myocastor coypus*) qui perturbent les écosystèmes lacustres, des espèces domestique échappées qui engendrent une **pollution génétique***, ou encore de l'eutrophisation des plans d'eau qui génère une prolifération d'algues.

La pollution génétique* est l'introduction causée par l'homme de gènes étrangers ou modifiés dans un génome sauvage. Ces gènes peuvent provenir d'espèces domestiques, d'espèces exotiques ou bien d'organismes génétiquement modifiés (OGM).

1.3.2.2. Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, par exemple: les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses.

- ✓ Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories: Les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autres éléments toxiques.

1.3.2.3. Pollution physique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourds que l'eau elle-même), les matières flottables (plus légères que l'eau elle-même) et les matières non séparables (de même densité que l'eau).

La pollution physique désigne autre type de pollution, telle que la pollution thermique due à la température élevée qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz, et la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire).

- **Pollution radioactive**

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements.

- **Pollution thermique**

Le rejet de la chaleur dans l'environnement constitue de nos jours une forme de pollution physique du milieu naturel susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénotiques car elle agit sur un facteur écologique primordial : la température du milieu. L'augmentation de la température de l'eau réduit la teneur en oxygène et augmente la vitesse de réactivité chimique.

- **Pollution mécanique**

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension.

Chapitre 2. Les sources de pollutions

2.1. Introduction

On peut classer donc les différentes sources de pollution en trois grandes catégories: la pollution domestique et urbaine, pollution agricole et pollution industrielle. Les sources naturelles peuvent également contaminer le milieu aquatique dans certains cas. Cependant, les pollutions accidentelles peuvent aussi altérer la qualité des eaux.

Les rejets des activités domestiques, urbaines, agricoles et industrielles constituent la principale source de pollution des eaux de surface et souterraine. Le vecteur de transport et de dissémination idéale de ces rejets est l'eau(**Figure 6**).

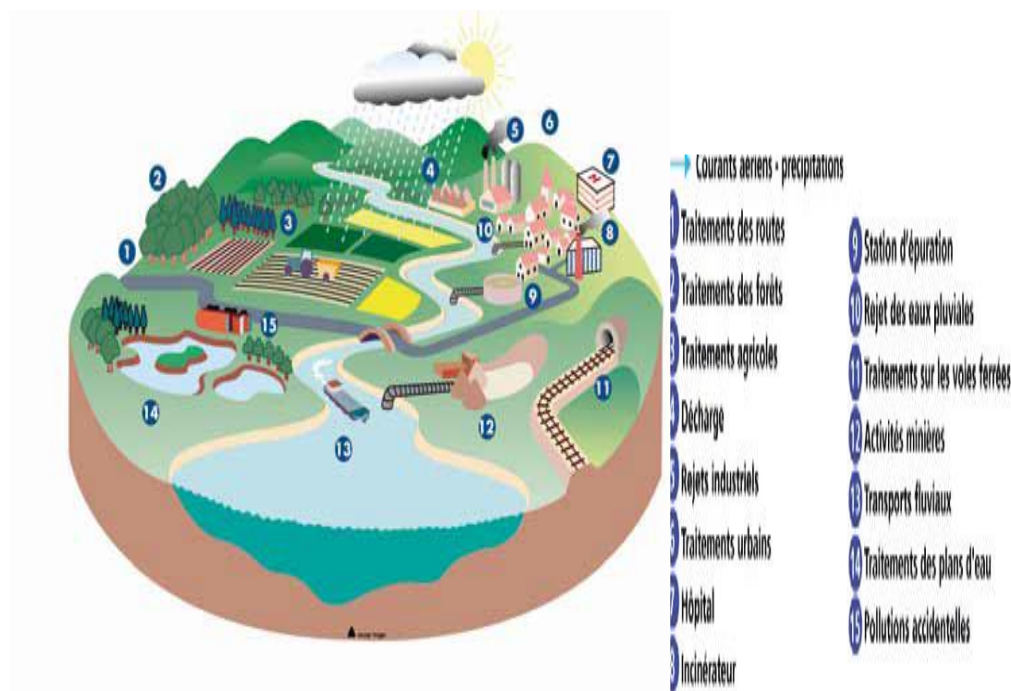


Figure 6. Différentes sources de pollution des eaux.

2.2. Pollution d'origine domestique et urbaine

Elle englobe les rejets liquides (eaux usées domestiques et urbaines), et les rejets solides des décharges publiques, qui sont en majorité sauvages et non contrôlés. En effet, les décharges contiennent des matières organiques biodégradables, qui en présence des eaux météoriques,

subissent un lessivage vers les eaux superficielles, où elles s'infiltrent vers les nappes phréatiques. Pour les eaux usées qu'elles soient urbaines, domestiques ou des rejets industriels, elles sont directement évacuées dans les oueds sans aucun traitement préalable.

2.3. Pollution d'origine agricole

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique d'engrais, de pesticides et d'herbicides ou de fongicides. Les méthodes modernes exigent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants (NO_3 , NO_2 , SO_4 , PO_4 et Cl) vers la nappe phréatique.

2.3. Pollution d'origine industrielle

C'est la plus importante pollution, générée principalement par les industries minières au niveau des différentes étapes du traitement des minerais métalliques. Ces derniers libèrent une grande variété de substances métalliques, qui contribuent de façon cruciale à la mise en circulation des ETM et à leur distribution dans les sols, les sédiments, les nappes d'eaux et les végétaux.

En effet, des niveaux élevés de composés d'azote et de cyanure (ammoniac, nitrate, nitrite) peuvent également être trouvés dans les eaux des sites miniers, en provenance de la lixiviation en tas et des produits d'abattage par explosifs. Le drainage des acides et des contaminants de lixiviation est la plus importante source d'impacts sur la qualité de l'eau liés à l'extraction des minerais métalliques.

2.4. Pollution naturelle

Ce type de pollution affecte rarement les ressources en eau, il s'agit de l'éruption volcanique, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures ou encore lorsque l'eau entre en contact avec des gisements minéraux, en déclenchant des réactions de dissolution ou d'érosion, entraînant la libération de concentrations inhabituelles en métaux lourds.

2.5. Les décharges sauvages

Les décharges sauvages (huile de vidange, batteries...) et tout ce que l'on jette dans la nature sans vraiment y prêter attention, représentent une source de pollution qui fait parfois beaucoup de dégâts....

2.6. Pollution accidentelle

Leurs origines sont multiples. Certains déversements de produits polluants sont dus à des accidents (camions citernes, bacs endommagés, fuites sur canalisations...). D'autres surviennent dans des usines, lorsque des quantités importantes de gaz ou de liquides toxiques s'en échappent et sont disséminées en peu de temps dans la nature. Les stations d'épuration elles-mêmes peuvent tomber en panne et déverser leurs eaux usées ou leurs boues directement dans le milieu aquatique. Enfin, la pollution peut être due à l'ignorance ou à la légèreté de certains usagers: rejet de solvants chlorés dans les égouts, huiles de vidange...

2.5. Pollution lumineuse

Elle est due à un excès de production lumineuse durant la nuit en milieu ouvert. La pollution lumineuse peut dégrader la perception de l'environnement et affecter les rythmes biologiques, les activités diurnes et les migrations des animaux. Elle peut provoquer des troubles du sommeil chez les êtres humains. La principale source de pollution est l'éclairage public urbain.

2.6. Modes de pollution

Selon l'origine et la manière avec lequel les polluants sont transportés vers les milieux aquatiques on distingue :

- **Pollution ponctuelle** : souvent liée à des sources bien identifiées (rejets domestiques ou industriels...). Ce type de pollution peut être éliminé par traitement dans des stations d'épurations,

- **Pollution diffuse** : due aux épandages des pesticides et des engrais sur les terres agricoles, elle concerne l'ensemble d'un bassin versant en mettant plus de temps pour atteindre les milieux aquatiques, et ne peut être traitée qu'à la source en diminuant l'usage de substances responsables,
- **Pollution permanente** : ce type de pollution est la plus répandue, il s'agit des rejets domestiques de grande agglomération,
- **Pollution périodique** : celle qui apparaît périodiquement suite à l'augmentation des rejets lié au tourisme et aux crues,
- **Pollution accidentelle ou aigue**: liée au déversement intempestif de produits toxiques d'origine industrielle, agricole, ou de lessivage des sols urbains.

Chapitre 3. Les principaux polluants des eaux

3.1. La pollution par les matières organiques

Les matières organiques ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent des déchets domestiques (ordures ménagères, excréments), agricoles (lisiers) ou industriels (papeterie, tanneries, abattoirs, laiteries, huileries, sucreries...), lorsque ceux-ci sont rejetés sans traitement préalable.

Une ville de 100 000 habitants par exemple déverse environ 18 tonnes de matière organique par jour dans ses égouts.

- ✓ Certaines substances organiques sont facilement biodégradables et peuvent donc être décomposées et éliminées grâce aux capacités naturelles d'auto-épuration des milieux aquatiques.
- ✓ Mais, lorsqu'elles sont en excès, leur décomposition peut entraîner l'asphyxie de la faune aquatique. Ce sont les poissons qui souffrent le plus du manque d'oxygène, les invertébrés étant moins affectés, et les bactéries encore moins. En cas de forte pollution, la vie végétale aussi tend à disparaître.
- ✓ Les hydrocarbures par exemple, comme le pétrole, sont des composés organiques biodégradables. Ils peuvent cependant avoir des effets toxiques importants sur la flore et la faune aquatiques lorsqu'ils sont présents en fortes quantités. Or, les fortes pollutions ponctuelles aux hydrocarbures ne sont pas rares, non seulement en mer notamment lors des fameuses " marées noires " provoquées par les accidents de pétroliers géants, mais aussi sur les milieux continentaux. Dans le Bassin Parisien par exemple, 40 % des pollutions seraient dues à des hydrocarbures.
- ✓ Le caractère biodégradable d'une substance dépend de sa structure moléculaire. Ainsi, si les sucres simples sont facilement dégradés, d'autres sucres comme la cellulose et la

lignine, aux molécules plus complexes, ou encore les acides humiques, peuvent persister longtemps dans les hydrosystèmes.

- ✓ Les PCB (polychlorobiphényles), des composés organiques voisins du DDT par leur structure chimique, sont également très persistants. Ils ont été utilisés dès les années 1930 par de nombreuses industries (électrotechnique, peintures, matières plastiques...).
- ✓ Liposolubles, ils peuvent s'accumuler dans les graisses des organismes vivants. Détectés dans l'environnement dans le courant des années 1970, leur usage a été restreint dans les pays industrialisés. Leur production a même cessé en France depuis 1987. Ils perdurent néanmoins dans les eaux à des concentrations non négligeables, du fait de leur adsorption par les sédiments et de leur grande stabilité.

3.2. La pollution microbiologique

La pollution microbiologique : est une autre forme de pollution organique. Les déchets organiques, en particulier les excréments, contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau. Ces germes peuvent provoquer des maladies aussi graves que le choléra, la typhoïde, la dysenterie....

- ✓ Ils ont été jadis responsables d'épidémies dramatiques dans nos pays. Aujourd'hui, cette pollution des eaux continentales a fortement diminué dans les pays industrialisés grâce à la mise en service de stations d'épuration qui assurent le nettoyage des eaux usées avant leur rejet dans la nature. Mais cela n'est pas le cas des pays en développement où elle provoque encore des morts innombrables.

3.3. Les Espèces invasives ou exotiques

- pollution biologique est l'introduction d'espèces exogènes (végétales ou animales) ou d'organismes génétiquement modifiés dans un milieu.
- Ainsi que les modifications environnementales qui aboutissent à une modification des peuplements

Les espèces invasives passent typiquement par trois phases de développement successives :

- ✓ une phase de latence, souvent assez longue, durant laquelle elles restent très discrètes et s'acclimatent progressivement à leur nouvel environnement,
- ✓ une phase d'émergence au cours de laquelle elles commencent à prospérer et à se disperser,
- ✓ et une phase d'invasion pendant laquelle leurs populations explosent et elles colonisent progressivement l'ensemble des milieux qui leur sont favorables.

Les espèces invasives peuvent aussi altérer en profondeur le cycle des éléments nutritifs. Tel est le cas de la moule zébrée qui consomme de grandes quantités de phytoplancton, diminue la turbidité de l'eau et modifie la structure des communautés d'organismes aquatiques ainsi que le fonctionnement des chaînes alimentaires

3.4. La pollution par les nitrates

La présence de nitrates dans les eaux continentales provient à 66 % de l'agriculture, suite à l'épandage de doses massives d'engrais azotés et de lisier (effluents d'élevage), les zones les plus atteintes étant les plaines alluviales qui récoltent les eaux des grands bassins versants et sont des lieux privilégiés d'agriculture intensive. Le reste est issu des rejets des collectivités locales (22 %) et de l'industrie (12 %).

- ❑ Très solubles dans l'eau, les nitrates constituent aujourd'hui la cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eau souterraine du globe qui par ailleurs présentent en général une qualité chimique et bactériologique satisfaisante pour l'alimentation.
- ❑ Cette pollution a débuté à la fin des années 1950 et n'a fait qu'augmenter depuis lors. Alors qu'en l'absence de contamination, la teneur en nitrates des eaux souterraines varie de 0,1 à 1 milligramme par litre d'eau, elle dépasse souvent

aujourd'hui 50 milligrammes par litre, norme retenue pour les eaux potables par l'Organisation mondiale de la santé.

- ❑ La pollution des eaux par les nitrates présente un double risque. Ingréés en trop grande quantité, les nitrates ont des effets toxiques sur la santé humaine.
- ❑ Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à modifier **l'équilibre biologique** des milieux aquatiques en provoquant des **phénomènes d'eutrophisation**

3.5. La pollution par les phosphates

Les phosphates rejetés dans l'environnement proviennent, à parts sensiblement égales, de sources agricoles (engrais) et industrielles, de déjections humaines et de détergents ou lessives phosphatées.

En Europe de l'Ouest, **la pollution ponctuelle** par les phosphates est estimée à 3,5 grammes par habitant et par jour : 1,2 gramme provient des excréments humains, et le reste surtout des détergents. En matière de **pollution diffuse**, on estime que 0,5 à 2,5 % du phosphore des engrais utilisés est entraîné par l'eau, lors du lessivage des sols cultivés par les eaux de pluie et de drainage.

- Les phosphates sont les principaux responsables, en France et dans le monde, des phénomènes d'eutrophisation et de dystrophisation.
- En effet, non toxiques en eux-mêmes pour la vie animale et végétale, ils portent atteinte à l'environnement dès lors qu'ils sont en fortes concentrations : ils deviennent alors de véritables engrais pour les milieux aquatiques qu'ils contribuent à enrichir exagérément en matière organique.

3.6. La pollution métallique

La pollution métallique peut être due à **différents métaux** comme l'aluminium, l'arsenic, le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le nickel, le zinc... ou encore à des **métaux lourds** comme le cadmium, le mercure ou le plomb, plus toxiques que les précédents.

De multiples activités humaines en sont responsables. Cette pollution provient en effet essentiellement :

- des rejets d'usines, notamment de tanneries (cadmium, chrome), de papeteries (mercure), d'usines de fabrication de chlore (mercure) et d'usines métallurgiques,
- des épandages sur les sols agricoles d'oligo-éléments ou de boues résiduelles de stations d'épuration,
- de l'utilisation de certains fongicides (mercure),
- des retombées des poussières atmosphériques émises lors de l'incinération de déchets (mercure) ou de la combustion d'essence automobile (plomb),
- du ruissellement des eaux de pluie sur les toitures et les routes (zinc, cuivre, plomb).

Elle pose un problème particulier, car les métaux **ne sont pas biodégradables**. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains **se concentrent** dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, comme les poissons. Cette " bio-accumulation " explique leur très forte toxicité.

- **Le mercure**

La première pollution grave imputée à un métal, le mercure, s'est produite au Japon en 1953. Une usine de fabrication de matières plastiques déversait alors ses déchets dans une baie, à Minamata.

Au bout de quelques années, les habitants des littoraux voisins qui consommaient beaucoup de poissons et de fruits de mer ont commencé à être victimes de graves troubles osseux pouvant conduire à des décès ("maladie de Minamata").

- Dans les années 1950 et 1960, 150 tonnes de mercure ont ainsi été déversées dans la baie ! Et les taux de mercure trouvés dans les poissons contaminés étaient **500 000 fois supérieurs** à ceux des eaux de la baie !
- Dans le monde, des milliers de tonnes de mercure sont rejetées chaque année dans les cours d'eau où ce métal se transforme en méthyl-mercure, un composé très stable qui se concentre ensuite dans les organismes vivants.
- La toxicité élevée du mercure est liée à son aptitude à se combiner au soufre. Dans les organismes vivants, il peut ainsi bloquer certains sites actifs comportant des atomes de soufre, comme celui de la vitamine B12. Les composés mercuriels sont particulièrement dangereux pour le cerveau où ils s'accumulent.

- **Le plomb**

- La toxicité du plomb est due notamment à **son effet inhibiteur de certaines enzymes** qui provoque des troubles cérébraux et des retards mentaux chez les jeunes enfants.
- La pollution par le plomb provient surtout des additifs antidétonants de l'essence. Rejetés dans l'atmosphère, ceux-ci retombent et se concentrent de part et d'autre des routes. Le plomb qu'ils contiennent passe alors directement dans l'herbe ou dans les eaux de ruissellement.

3.7. Les composés organiques de synthèse (produits phytosanitaires)

- s'est accrue au cours des dernières décennies, notamment sous l'effet du développement de l'activité agricole;
- La présence de concentrations trop élevées de pesticides dans certaines ressources complique, les processus de production de l'eau potable;

➤ ces substances peuvent s'accumuler au fil de la chaîne alimentaire.

- **Les pesticides :**

Ce sont des produits destinés à lutter contre:

- les insectes nuisibles (insecticides),
- les mauvaises herbes (herbicides)
- les champignons nuisibles (fongicides).

⇒ après 1945

→ Insecticides de synthèse appartenant au groupe des hydrocarbures chlorés (dont le plus connu est le DDT)

→ utilisation massive dans la lutte contre les insectes ravageurs des cultures et nuisibles à l'homme,

⇒ Effets catastrophiques

Les pesticides :

- sont très stables,
- résistent pendant des années à la dégradation,
- peuvent s'accumuler dans le sol,
- dans les tissus des végétaux et des animaux,
- sur le fond vaseux des étangs et des rivières.

→ pulvérisés sur les cultures

- → se diffusent dans l'atmosphère
- → se retrouvent partout dans le monde,
- → contaminant des zones comme les régions polaires qui sont très éloignées des régions cultivées.

- **Les hydrocarbures :**

Ils peuvent contaminer les ressources en eau selon différentes modalités :

- ✓ rejets industriels,
- ✓ rejets des garages et
- ✓ stations-service,
- ✓ ruissellement des chaussées,
- ✓ effluents domestiques

-La pollution domestique et urbaine :

Quel que soit la quantité d'eau utilisée par jour... la quasi-totalité est ensuite rejetée. Les eaux usées domestiques ⇒

Les eaux "ménagères", on trouve les eaux de cuisine et de salle de bains et les eaux "vannes" (WC)

- Les eaux « ménagères » = 2/3 du total des eaux usées domestiques,

Et contiennent, graisses, savons et détergents, MES, matières dissoutes organiques ou minérales.

- **la pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau à :**

- 70 à 90 g de matières en suspension (MES),
- 60 à 70 g de matières organiques,
- 15 à 17 g de matières azotées,

- 4 g de phosphore,
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

Il faut ajouter : Les eaux usées rejetées (effluents) par les installations collectives

- ✓ les hôpitaux,
- ✓ les écoles,
- ✓ les commerces,
- ✓ les hôtels,
- ✓ restaurants, etc.

Ces eaux résiduaires sont acheminées vers des stations d'épuration. À l'issue de l'épuration la majorité des polluants sont éliminés. Le développement des équipements de collecte et de traitement des eaux usées c'est-à-dire l'assainissement aboutit enfin à réduire l'impact de la pollution domestique et d'une partie de la pollution industrielle. L'objectif final donc est la préservation de nos ressources en eau et la protection de notre environnement.

- *En cas de forte pluie*, en zone urbaine des pics de pollution particulièrement nocifs qui peuvent survenir, lorsque de fortes pluies succèdent à une longue période sèche. Cependant, on aura un risque de saturation du système d'assainissement, il peut y avoir surverse du réseau, en plus le lessivage des toits et des chaussées par les pluies. Elle peut entraîner une augmentation des pollutions urbaines des ressources.

- La pollution industrielle:

Si la pollution domestique des ressources est relativement constante, les rejets industriels représentent une très grande diversité suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. Selon l'activité industrielle des polluants diverses:

- ✓ des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...),
- ✓ des hydrocarbures (industries pétrolières, transports)

- ✓ des métaux (traitements de surface, métallurgie),
- ✓ des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...),
- ✓ des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques),
- ✓ des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs)...

Les industries:

Elles sont considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau: les industries agro-alimentaires, papetières, la chimie, les traitements de surface, et l'industrie du cuir...

- La pollution d'origine agricole:

L'agriculture est la première cause des pollutions diffuses des ressources en eau. Les pollutions d'origine agricole, englobent les cultures et l'élevage.

Les activités agricoles sont largement impliquées dans les apports en azote et dérivés ainsi que les nitrates /nitrites, en forte concentration dans les engrais, mais aussi dans les lisiers et purins d'élevage.

- Les pesticides:

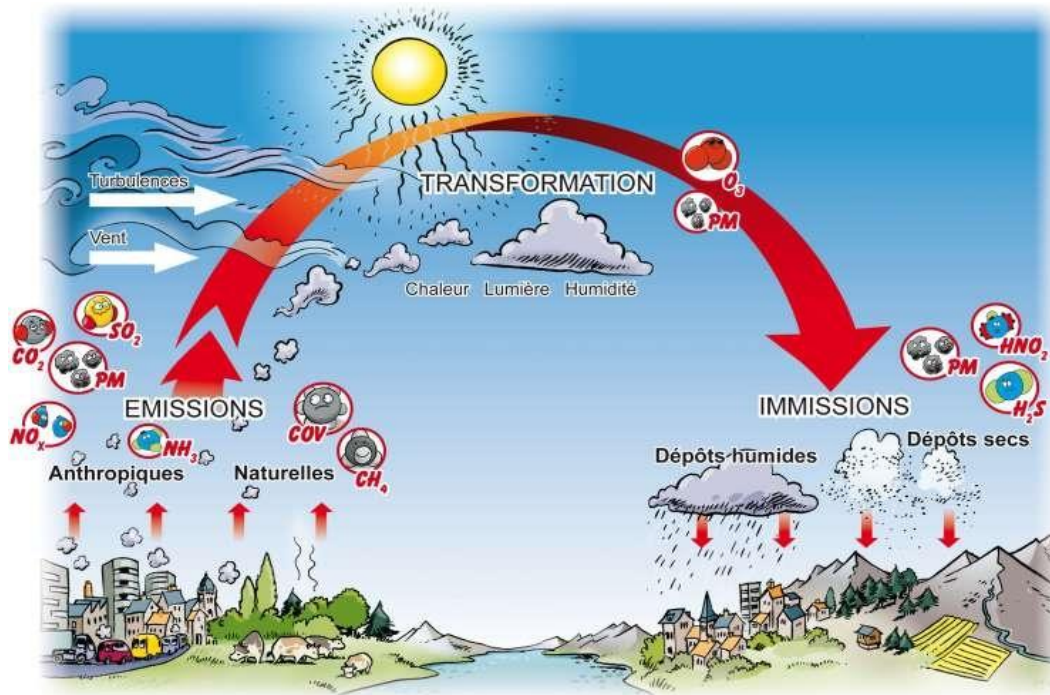
Ils sont utilisés pour le traitement des cultures. Ils représentent une source de dégradation des ressources en eau "produits phytosanitaires". Ces derniers forment une multitude de substances, dont la rémanence dans l'eau peut varier d'une molécule à l'autre. Les organochlorés plus rémanents que les organophosphorés.

-La pollution d'origine atmosphérique:

- L'atmosphère terrestre contient un certain nombre de polluants qui, sous l'effet des pluies, peuvent contaminer le sol.
- Par ruissellement ou infiltration, ces polluants migrent vers les eaux superficielles et souterraines.

Exemple: « pluies acides »

- ses conséquences sur la végétation (forêts) sont bien connues.
- Origine: l'oxydation, dans l'atmosphère, de l'anhydride sulfureux (SO_2 , issu de la combustion de combustibles fossiles tels que le fuel ou le charbon) et d'oxydes d'azote (NO_x , issus des moteurs à explosion et des foyers industriels),
- Conséquence: la présence d'acide sulfurique et d'acide nitrique dans l'eau de pluie.



Pluies acides

- La pollution « naturelle » :

- La teneur de l'eau en substances indésirables *n'est pas toujours le fait de l'activité humaine.*
- Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer:

Exemple: le contact de l'eau avec les gisements minéraux par érosion ou dissolution, avec des concentrations inhabituelles en métaux lourds, en arsenic, etc. Des irrptions volcaniques ou des épanchements sous-marins d'hydrocarbures qui sont à l'origine de pollutions.

4. Mécanismes de dispersion et de circulation des polluants

Un autre aspect, non moins préoccupant, de la pollution de la biosphère par l'industrie chimique réside en l'étendue des surfaces exposées aux innombrables substances toxiques produites par les activités humaines. Les matières toxiques sont diffusées dans l'atmosphère, puis elles tombent dans la mer. Elles se propagent verticalement et horizontalement dans la mer.

- Ça pollue les poissons. Les oiseaux mangent ces poissons et, par conséquent, ils s'intoxiquent aussi. Les oiseaux propagent à leur tour aussi la pollution dans l'air.
- De cette manière la pollution évolue et se propage de la même manière que la première fois. Il y a une diffusion dans le sable, un transfert par bulles. Mais il y a aussi de la pollution qui vient de la pluie et qui ensuite se propage par embruns.



- **Exemple des hydrocarbures**

- ❑ Si l'on prend le cas des produits pétroliers, les carburants et les fiouls de chauffage représentent le plus gros volume de produits organiques journallement manipulés et transportés dans les pays industrialisés.
- ❑ De ce fait, ils sont impliqués dans de nombreuses pollutions. Ces produits, globalement non miscibles à l'eau, sont des mélanges complexes de nombreux composés hydrocarbonés. Lors d'un déversement accidentel on distingue trois phases successives :
 - Le produit s'infiltré dans le sol de couverture perméable de l'aquifère ; la nappe d'eau souterraine est directement atteinte lorsque la quantité déversée est supérieure à celle que le sol et la partie aérée de l'aquifère sont capables de retenir ;
 - le produit en contact avec l'eau lui transmet des traces d'hydrocarbures les plus solubles;
 - le transfert d'hydrocarbures, sans cesse réactivé par les mouvements de l'eau, constitue la véritable source de contamination de l'eau entraînant la persistance de la pollution. Les traces dissoutes sont véhiculées par l'eau souterraine dont la vitesse d'écoulement est de l'ordre de quelques mètres par jour en aquifère poreux (milieu alluvial). Outre le risque de pollution des captages d'eau, l'évaporation d'hydrocarbures dans le sol peut engendrer des risques d'explosion.
- ✓ Dans le cas de la dispersion d'un polluant miscible à l'eau, une émission locale (fuite d'un réservoir enterré) à débit constant d'un polluant miscible à l'eau provoque dans l'aquifère la dispersion du polluant entraîné par l'eau souterraine.

- ✓ Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source, le polluant est dilué par le jeu de mécanismes dispersifs et d'effets de mélange dans l'aquifère poreux. Les concentrations dans l'eau décroissent dans la direction de l'écoulement et s'estompent transversalement.