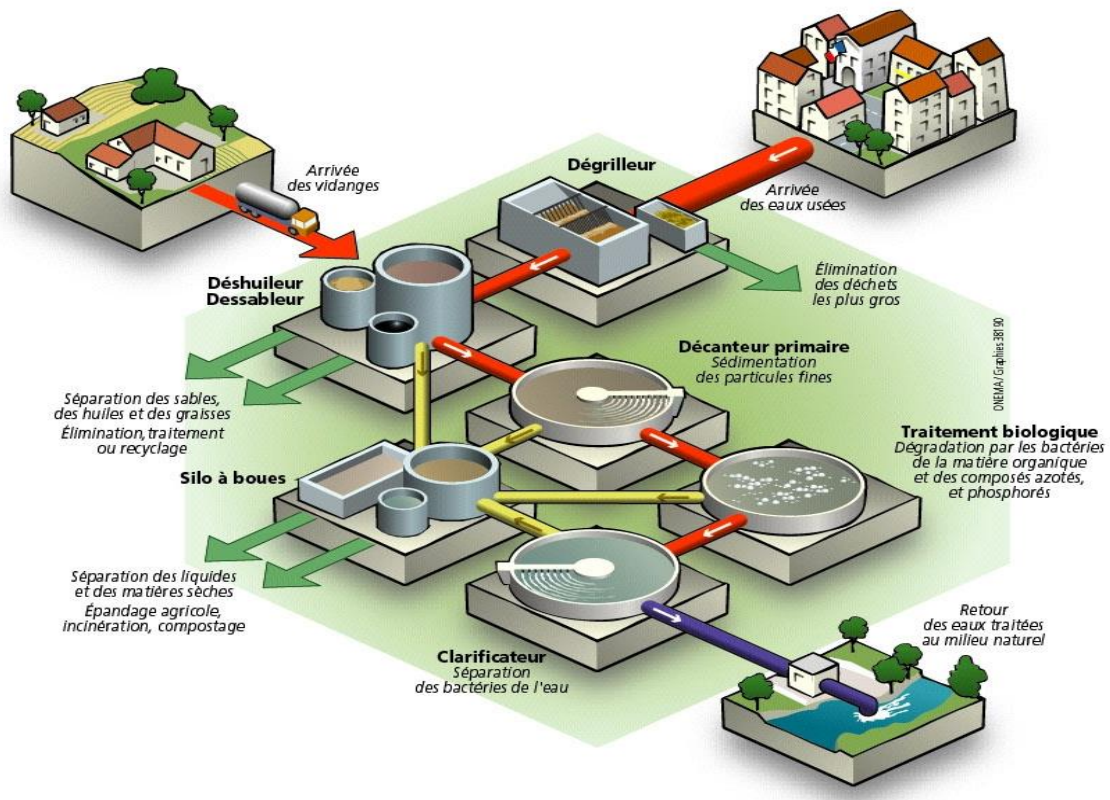

Département des sciences de la vie et de la terre

Filière : Enseignement secondaire

Module : Complément de formation
Écologie et gestion de l'environnement

Pollution et traitement des eaux usées



Pr. Bouhsine El Fellah Idrissi

Pre. Jamila Ouardi

Table des matières

Introduction	2
I. L'eau sur terre.....	2
II. Définition et classification de la pollution des eaux.....	3
II.1. Définition de la pollution.....	3
II.2. Origines de la pollution des eaux	4
II.3. Catégories des polluants	4
III. Conséquences de la pollution	5
III.1. Conséquences sanitaires	5
III.2. Conséquences écologiques.....	7
III.3. Conséquences économiques	7
IV. Traitement des eaux usées.....	8
IV.1. Traitement primaire : traitement physico-chimique.....	9
IV.2. Traitement secondaire : traitement biologique	9
IV.2.1. Lagunage	10
IV.2.2. Méthode des boues activées	11
IV.2.3. Méthode des Lits bactériens	12
IV.2.4. Elimination des boues	13
IV.3. Traitement tertiaire	13
V. Toxicité	14
V.1. Notion de toxicité	14
V.2. Manifestation de la toxicité.....	14
V.2.1. Manifestation directe	14
V.2.1.1. Toxicité aiguë (court terme)	14
V.2.1.2. Toxicité subchronique ou chronique (moyenne et long terme)	15
V.2.2. Manifestation par accumulation	15
V.3. Le toxique en milieu aquatique et ses implications écologiques	15
V.4. Influence du milieu récepteur	15
V.5. Interaction entre polluants.....	16
VI. Définition et classification des métaux	16
VI.1 Définition	16
VI.2. Classification	17
Références bibliographiques	17

Introduction

L'eau constitue un élément de base incontournable pour les écosystèmes de la planète et pour la vie humaine. Elle joue un rôle crucial dans le développement économique et social. Ainsi, sa gestion de manière durable est devenue aujourd'hui indispensable. La qualité de l'eau est par ailleurs affectée par des applications industrielles, agricoles et domestiques qui ont une immense influence sur la détérioration de cette ressource. On estime que la pollution des eaux de surface a déjà réduit d'un tiers les ressources aquifères utilisables.

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel par la civilisation contemporaine. La pollution constitue une menace potentielle susceptible d'entraver à plus au moins brève échéance l'activité humaine. En effet, les activités industrielles, agricoles et domestiques consomment non seulement de grandes quantités d'eau, de bonne qualité, mais contribuent également à la dégradation des ressources en eau superficielles, souterraines et océaniques par les grands volumes d'eaux usées et la nature des rejets que génèrent ces activités au moment où les ressources en eau sont limitées et les besoins deviennent de plus en plus élevés.

Les déchets générés par l'industrialisation et l'urbanisation, sont directement rejetés dans les cours d'eaux ou dans les milieux naturels. Ceci d'une part réduit fortement la capacité d'autoépuration des Oueds en les transformant en égouts à ciel ouvert. Les processus naturels de décomposition ne suffisent pas pour venir à bout de ces apports de polluants.

Ce cours est destiné aux professeurs stagiaires, et a pour but la connaissance des origines de la pollution des eaux et les nuisances qu'elle peut engendrer, ainsi que les procédés d'épuration des eaux usées.

I. L'eau sur terre

L'eau recouvre 71% de la surface terrestre. La totalité de l'eau présente sur la terre forme ce que l'on appelle l'hydrosphère. Son volume total est estimé à 1400 millions de km³. Ce volume paraît considérable : plus de 97% de l'eau de la planète bleue est salée, et l'eau douce représente à peine 3% du volume total de l'eau présente sur la terre. L'eau salée se retrouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. Sur les 3% d'eau douce, 99 % sont très difficilement exploitables : 77 % sont gelés au niveau des calottes polaires et dans les glaciers de montagne et 22 % sont profondément enfouis dans le sous-sol. De l'eau douce de surface liquide, 87 % sont contenus dans des lacs, 11 % dans des marécages et seulement 2 % dans des rivières (Fig.1).

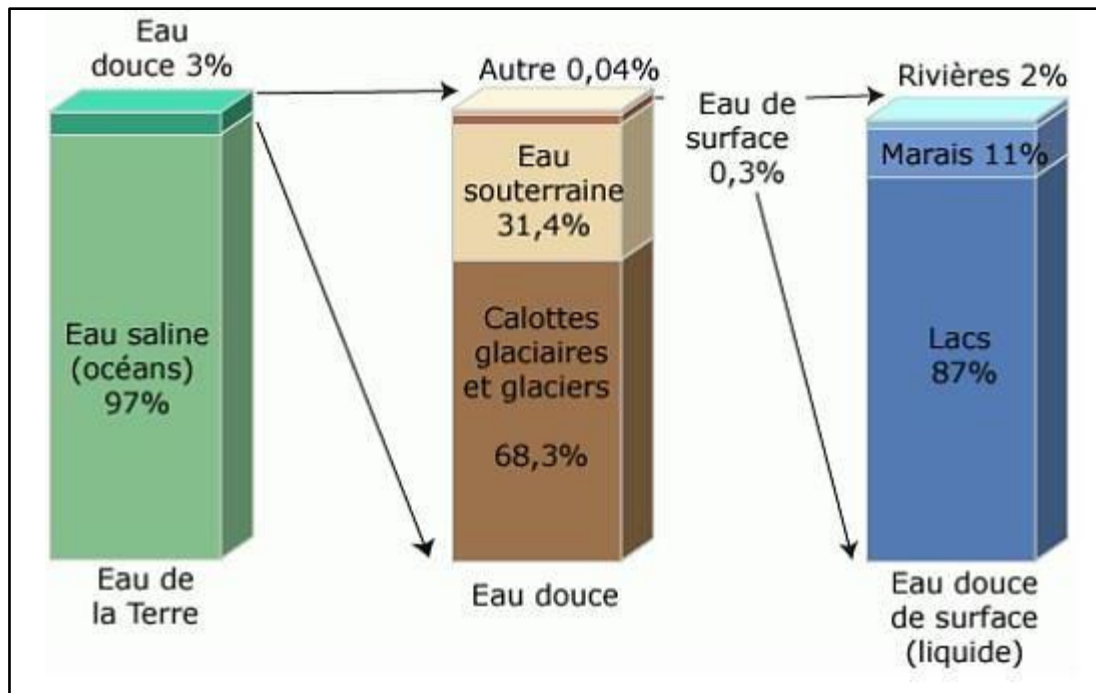


Fig. 1 : Répartition de l'eau sur terre.

II. Définition et classification de la pollution des eaux

II.1. Définition de la pollution

“ 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 d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modification peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physique qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature” (Ramade, 1992).

Cette définition englobe toutes les actions par lesquelles l'homme dégrade la biosphère. En effet, la pollution des eaux signifiés selon l'organisation mondiale de la santé (OMS, 1989), toutes modifications des propriétés physiques, chimiques ou biologique d'une étendue d'eau quelconque d'un pays considéré ou tous rejets de substances liquides, gazeuses ou solides dans une eau, susceptibles de créer une nuisance ou de rendre l'eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue santé, sécurité et bien être publique, soit de ses usages à des fins domestiques, commerciales, industriels,...etc.

II.2. Origines de la pollution des eaux

Les origines de la pollution des eaux peuvent être classées en trois catégories :

Pollution domestique : Elle est due aux rejets domestiques qui sont constitués principalement par les eaux de cuisine, de lessive et de toilette, ainsi que l'eau de lavage des locaux. Ce type d'eau, véhicule essentiellement des produits organiques biodégradables caractérisés par des teneurs en azote ammoniacal élevées (Ouaryachi, 1999), des matières en suspension, et matières dissoutes. La pollution domestique est la cause principale de l'augmentation du phosphore dans les eaux usées, substance responsable, avec les nitrates, des phénomènes d'eutrophisation.

Pollution industrielle : Elle est due aux rejets industriels qui sont caractérisés par :

- une charge minérale dominante, ce qui est le cas des rejets des usines de traitement des minéraux, chargés de matières en suspension. Ceux-ci ont des pH qui s'écartent de la neutralité (Ouaryachi, 1999) ;
- une charge organique dominante, ce qui est le cas des rejets d'abattoirs et des huileries, où les eaux sont très chargées en matières organiques biodégradables ;
- une toxicité élevée due par exemple aux rejets de certaines substances chimiques comme le chrome (issu des tanneries), le cuivre, le nickel et l'argent (issus des dinanderies) ;
- une chaleur élevée comme dans les rejets des centrales électriques.

Pollution agricole : L'agriculture constitue une source de pollution par son apport en engrais, en pesticides et en insecticides. Les premiers étant riches en azote, entraînent une augmentation de la teneur des eaux superficielles et souterraines en nitrates, ce qui a des incidents sanitaires non négligeables. Quant aux pesticides et insecticides, largement utilisés afin d'exterminer les herbes et les insectes propagateurs de maladies afin d'augmenter la récolte, cependant, ils constituent une source de pollution considérables.

II.3. Catégories des polluants

Les professionnels du traitement, ainsi que de la législation, distinguent plusieurs catégories de polluants (Debroise, 2000) :

- ❖ **les matières en suspension (MES) :** elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la troublent. Les MES diminuent la luminosité dans l'eau donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu et les espèces animales en souffrent.

❖ **les matières organiques (MO)** : ce sont tous des déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou le lactosérum des industries agroalimentaires. A l'inverse des MES, ces éléments constituent une nourriture pour tous les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les micro-organismes se mettent alors à vider le milieu de son oxygène. Dès lors, les micro-organismes pour subsister vont chercher l'oxygène dans les sulfates dissous (SO_4^{2-}) qu'elles réduisent en sulfures (S^{2-}), qui se dégagent se forme de sulfure d'hydrogène en engendrant une odeur d'œuf pourris.

❖ **les matières inhibitrices (MI)** : elles comprennent des métaux ou métalloïdes (mercure, plomb), des pesticides, notamment les organochlorés (lindane, DDT), certaines huiles minérales et certains hydrocarbures. Les MI présentent des risques d'effets toxiques immédiats ou différés par accumulation dans les chaînes alimentaires et les risques d'effets cancérogènes.

Les textes législatifs distinguent ensuite la pollution par l'azote réduit (azote organique, et ammoniacal), par le phosphore, par les composés organo-halogénés (AOX) et par les métaux toxiques (METOX). Cette dernière catégorie regroupe sept métaux et un métalloïde (chrome, zinc, cuivre, nickel, plomb, arsenic, cadmium et mercure).

III. Conséquences de la pollution

Les conséquences de la pollution peuvent être classées en trois catégories principales :

III.1. Conséquences sanitaires

Celles qui ont trait à la santé d'une population humaine. Les eaux usées constituent un danger pour le milieu récepteur et représentent un risque potentiel pour la santé publique. Elles favorisent la propagation des maladies infectieuses d'origine fécale et oro-fécale. En outre l'eau résiduaire peut transporter quatre groupes d'agents pathogènes : bactéries, virus, protozoaires et les helminthes (Khamlichi, 1997).

Ainsi les cours d'eaux pollués pourraient être à l'origine de maladies hydriques pour les populations s'approvisionnant directement ou localisées dans les périmètres d'irrigation dominés par ces cours d'eaux. Aussi la pollution des nappes peut constituer un risque si on utilise ses eaux pour l'alimentation en eau potable.

Près de la moitié de la population mondiale, pratiquement toute celle des pays en développement souffre d'affections liées au manque d'eau ou à une eau contaminée. Selon l'organisation mondiale de la santé, deux milliards de personnes sont menacées de maladies diarrhéiques transmises par l'eau ou par les aliments, qui sont cause de mortalité pour plus de cinq millions d'enfants chaque année (Middleton, 1995).

Parmi les maladies d'origine hydrique, on cite, le choléra, la fièvre typhoïde, l'hépatite dues à des vecteurs, paludisme et bilharziose. L'eau les transmet par différentes vois. Au Maroc le paludisme et la bilharziose, sont les plus répandues par l'usage d'eau brute superficielle (Chalaoui, 1996).

- le paludisme était un véritable fléau au Maroc, notamment entre 1934-1959, le nombre de cas avait atteint 360.000 en 1940. En 1959, on enregistrait encore près de 45.000 cas (Chalaoui, 1996).
- la bilharziose, le nombre élevé de cas a été enregistré en 1973. Il a été dénombré 13.417 cas. Toutefois, il y a une tendance à la baisse depuis 1982. Il en découle de l'étude portée sur la santé des populations que l'existence de la bilharziose est liée à des zones d'irrigation quel que soit l'origine de la ressource en eau (Chalaoui, 1996).

Pour les risques sanitaires provoqués par la consommation de certains métaux lourds, on cite comme exemple celles relative à l'ingestion du Chrome, Nickel et le cadmium.

✓ **Chrome**

Les symptômes de toxicité du chrome se manifestent par le vomissement, diarrhée, diathèse hémorragique et le passage du sang dans le tractus digestif provoquant le choc cardiovasculaire. Des concentrations de chrome de 1 à 10µg Cr/l dans l'eau de rivières ne représentent aucun risque sanitaire (Sabhi, 1998).

✓ **Nickel**

Les plus hauts risques d'intoxication par le nickel se présentent dans les raffineries métallurgiques à base de sulfite, monosulfites de nickel. Des risques sanitaires ont été observés dans les processus manipulant le nickel dissout (électrolyse, extraction du cuivre, hydrométallurgie). Presque toutes les formes chimiques du nickel sont cancérogènes. Une longue exposition au nickel soluble peut augmenter le risque d'atteinte de cancer des poumons (Sabhi, 1998).

✓ **Cadmium**

Les intoxications historiques avaient eu lieu au Japon où l'ingestion du riz contaminé par le cadmium avait provoqué la maladie « itaï-itaï » ou « ouch'ouch » qui est caractérisée par des lésions rénales et l'ostéomalacie (Sabhi, 1998).

III.2. Conséquences écologiques

Les océans et les fleuves jouent le rôle d'un collecteur général où est déversé l'ensemble des déchets solide et liquides provenant d'une forte pression humaine matérialisée surtout par une activité industrielle et urbaine. Ces rejets provoquent la dégradation de l'aspect biologique du milieu récepteur. Cette dégradation se traduit par la disparition ou la modification de la végétation au voisinage des plans d'eau.

La pollution des eaux de surfaces se manifeste également par une prolifération d'algues. Bien que la présence d'algue dans les milieux aquatique soit bénéfique pour la production d'oxygène dissout, celles-ci peuvent proliférer de manière importante et devenir extrêmement gênante en démarrant le processus d'eutrophisation qui participe à la dégradation de la qualité d'eau : aspect désagréable (couleur, odeur...). Les algues se nourrissent de matière minérale telle que le phosphore sous forme de phosphate. Les apports en phosphore total augmentent avec les périodes de crues hivernales. Ce phosphore lié au particule en suspension ou accumulé dans les sédiments, semble constituer une charge nutritive importante (Derraz, 1995), ainsi que l'azote (ammonium, nitrates et azote gazeux) et d'autres éléments minéraux.

Parmi les inconvénients de l'eutrophisation, on cite la mortalité de certains types de poissons suite à la désoxygénation des couches profondes. Pour l'alimentation en eau potable, la présence d'algue provoque l'apparition de goûts et d'odeurs en distribution et le taux de matières organiques résiduelles est élevé (Gaujous, 1995). L'eutrophisation des lacs et des retenues, lorsqu'elle est avancée peut conduire à des opérations de réparations extrêmement coûteuses.

III.3. Conséquences économiques

- La première conséquence économique est le prix du traitement qu'il faudra prévoir pour rendre l'eau à nouveau apte audit usage. Or le prix de traitement n'est pas négligeable. Il est proportionnel au coût de traitement. Parfois l'effet de la pollution est plus grave, lorsque l'eau est trop polluée, le traitement devient compliqué ce qui provoque l'arrêt de certaines station de traitement, c'est le cas de la station de Karia Ba-Mohammed sur Oued Sebou.

- L'industrie est un gros consommateur d'eau : il faut par exemple 1m³ d'eau pour produire 1Kg d'aluminium. La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevée, tant sur le plan chimique (minéralisation, corrosion, entartrage), que biologique (problème de biofouling, c'est-à-dire d'encrassement des canalisations par des organismes). Le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution, c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation à la pollution est apparue d'abord dans les pays industrialisés (Gaujous, 1995).

- En agriculture, l'eau est largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (non traitée). La texture du sol (complexe argilo-humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail sont sensibles à la qualité de l'eau. De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des éléments toxiques (métaux lourds), être à l'origine de la pollution des sols (Gaujous, 1995).

IV. Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées provenant des diverses activités industrielles et domestiques est nécessaire pour diminuer ou éviter tout impact sur l'environnement et sur les populations humaines. Aujourd'hui, les charges minérales et organiques des effluents sont trop grandes pour ne compter que sur le pouvoir auto-épurateur de la nature. Il faut donc faire appel à des procédés permettant de les retenir et de les éliminer avant de les réintroduire dans le milieu naturel. Ces traitements visent à prévenir :

- la dissémination des micro-organismes pathogènes qui risque de contaminer l'eau de baignade et les prises d'eau potable des villes situées en aval ;
- la contamination des cultures et de l'élevage de certains fruits de mer ;
- l'épuisement de l'oxygène réquisitionné pour l'oxydation des matières organiques des effluents.

L'eau possède un pouvoir auto-épurateur grâce auquel elle se débarrasse d'une partie des polluants organiques résiduels naturels ou provenant des différents secteurs d'activité humaine. Ce procédé naturel repose sur l'intervention des micro-organismes. La capacité d'autoépuration dépend de plusieurs facteurs, mais le plus important est la disponibilité de l'oxygène. Généralement, le pouvoir auto-épurateur ne permet pas de débarrasser l'eau de toutes les matières polluantes rejetées par les égouts d'une grande communauté urbaine. Il faut aider la nature en accélérant le processus naturel, d'une part pour éviter que l'oxygène dissous dans l'eau ne soit mobilisé pour la décomposition des matières organiques et, d'autre part, pour retenir et détruire les micro-organismes entéro pathogènes éventuellement rejetés avec les selles d'individus infectés.

Le choix d'un procédé de traitement ou de la combinaison de plusieurs dépendra :

- des caractéristiques de l'eau résiduaire ;
- de la qualité requise pour l'effluent ;
- du coût et de la disponibilité des terrains ;
- du futur sur-classement des normes de rejets (anticipation sur la réglementation).

L'épuration des eaux comprend trois traitements séquentiels, respectivement qualifiés de primaire, secondaire et tertiaire. Le traitement primaire a pour but d'éliminer les particules en suspension ; le traitement secondaire permet d'oxyder les

matières organiques et de réduire la DBO ; le traitement tertiaire permet l'action des deux premières en éliminant les polluants résiduels par divers procédés. La figure 2 illustre les trois grandes étapes de l'épuration des eaux usées.

IV.1. Traitement primaire : traitement physico-chimique

Le traitement primaire a pour effet d'éliminer le maximum de matières solides. Il est constitué d'opérations préliminaires de nature mécanique et physico-chimique pratiquement identiques à celle utilisées pour l'eau brute. La première opération consiste à débarrasser l'eau des objets le plus volumineux (boîtes de conserves, poubelles, plastiques etc...) qu'elle peut transporter en la faisant passer à travers une grille. Ensuite, on élimine les solides comme le gravier et le sable. Le traitement primaire s'achève par une décantation ; on retient ainsi une bonne partie des matières particulaires plus légères, notamment les matières fécales et les papiers. Les boues recueillies sont traitées de différentes manières : elles peuvent être incinérées, chargées dans des barges et jetées en mer ou soumise à la dégradation anaérobie dans des digesteurs, si la station d'épuration est dotée de l'équipement nécessaire au traitement secondaire.

A l'issue de ce traitement, la demande biochimique en oxygène n'a baissé que de 40% et l'eau contient encore de nombreux polluants ainsi que tous les micro-organismes dont elle était chargée, sauf si ceux-ci ont été tués par l'ajout de chlore à la fin du traitement. En plus d'être sales et malodorants à cause des grandes quantités de matières organiques qu'ils contiennent encore, ces effluents ont un impact négatif sur l'environnement aquatique.

IV.2. Traitement secondaire : traitement biologique

La caractéristique fondamentale du traitement secondaire est son caractère biologique. Très efficace, il permet de réduire plus de 90% de la DBO des effluents issus du traitement primaire. Il a pour cible principale la dégradation des matières organiques et repose sur l'action d'une riche flore microbienne et de bactéries, ce dernier groupe jouant toujours un rôle prépondérant dans la décomposition.

La biodégradation des eaux usées d'origine urbaine ne pose généralement pas de problèmes car ces eaux constituent un milieu de culture équilibré qui convient bien à la croissance microbienne. Il n'en va pas de même pour les effluents industriels qui devraient idéalement être traités à part étant donné leur composition. En effet, ces effluents contiennent souvent des produits qui risquent de contrecarrer la croissance de tous les micro-organismes ou de stimuler notablement celle d'une espèce au détriment des autres.

Le traitement secondaire peut être réalisé à l'aide de procédés aérobies et anaérobie. Les procédés sont ceux du lagunage, des boues activées et des lits bactériens. Le seul procédé anaérobie utilisé est la digestion des boues.

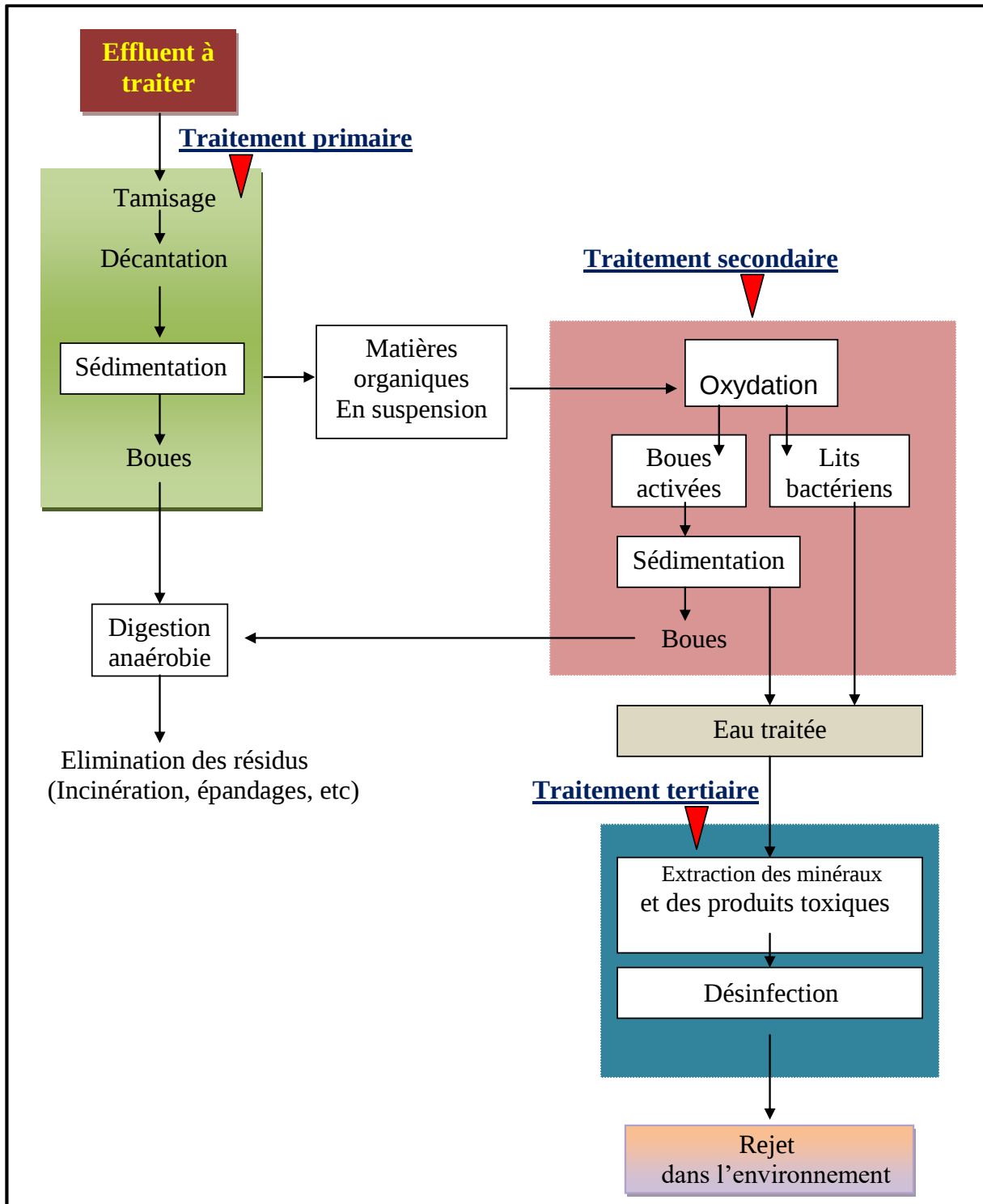


Fig. 2 : Étapes d'épuration des eaux usées (El Fellah Idrissi, 2002)

IV.2.1. Lagunage

Le lagunage est un procédé très proche de l'autoépuration. Les effluents sont déversés dans une série de grands bassins peu profonds, appelés champs d'épandage, où ils sont soumis à l'action microbienne. La dégradation des matières organiques se fait à l'aide des bactéries. Les protozoaires se nourrissent des bactéries mortes pendant que des plantes aquatiques et des algues microscopiques,

comme *Chlorella*, récupèrent les éléments minéraux et produisent de l'oxygène, favorisant ainsi le métabolisme aérobie des décomposeurs.

Ce procédé est peu coûteux mais présente deux inconvénients qui en limitent l'utilisation : il exige de grandes surfaces de terrain imperméable et le maintien d'une température ambiante stable et suffisamment élevée pour favoriser une activité microbienne régulière. L'efficacité de ce procédé serait affectée par les basses températures.

IV.2.2. Méthode des boues activées

Dans la méthodes des boues activées, les effluents filtrés et décantés sont transportés dans une série de cuves d'oxydation (Fig.3) préalablementensemencées avec une flore microbienne adéquate, une fois remplies, les cuves sont soumises à une forte aération, généralement par barbotage afin de créer des conditions aérobies optimales et de favoriser l'agrégation des matières et des micro-organismes en suspension. Sous l'effet de puissants jets d'air ou d'une violente agitation, les matières solides sont disloquées en petite particules floconneuses. Il se forme alors un floc gélatineux auquel on donne le nom de boues activées en raison du grand nombre de microorganismes très actifs qu'elles contiennent.

Les bactéries participent activement à la formation du floc (exemple d'une bactérie particulière, *Zoogloea ramigera* qui forme des grandes colonies gluantes auxquelles adhèrent facilement les matières en suspension. Les autres microorganismes adhèrent alors à ces parcelles de matière agrégées et les dégradent progressivement. Après une durée d'aération variable, les effluents sont envoyés dans un décanteur où l'on récupère les derniers résidus solides sous forme de boues. Une parties des produits recueillis à la fin de la sédimentation est envoyée en tête des cuves d'aération afin d'assurer un ensemencement permanent avec des microorganismes bien acclimatés à leurs fonction. L'autre partie est soumise à la minéralisation par des procédés aérobies, dans des bassins d'oxydation, ou dans des digesteurs anaérobies.

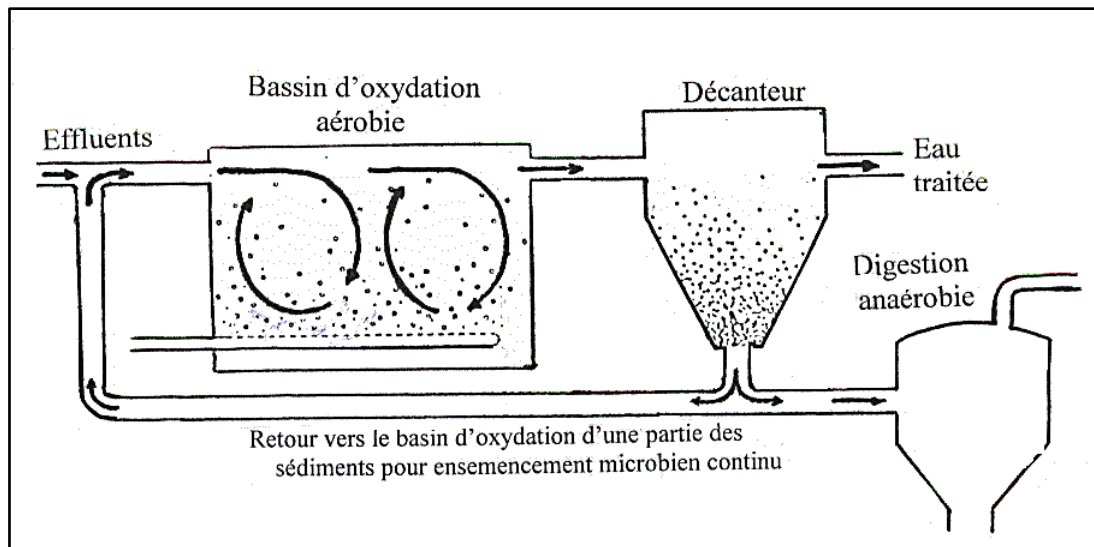


Fig. 3 : Méthode des boues activées.

IV.2.3. Méthode des Lits bactériens

La méthode des Lits bactériens est ainsi qualifiée en raison de l'immobilisation des microorganismes à la surface de supports solides généralement constitués de matériaux inertes (roches, plastiques, coke, pouzzolane,...etc). Elle présente deux avantages par rapport au lagunage et à la méthode des boues activées :

- elle permet d'augmenter la concentration de microorganismes par unités de volume d'effluent traité, ce qui améliore le rendement ;
- elle réduit la production de boues car elles sont retenues par le lit qui fait aussi office de filtre.

Toute, ces avantages sont contrecarrés par les risques toujours élevés de colmatage.

Comme l'illustre la figure 4, les effluents à traiter sont dispersés à l'aide d'un appareil rotatif à la partie supérieure du lit de matériaux. En s'écoulant entre les interstices, les effluents entrent en contact avec les micro-organismes fixés sur le support. Comme ils y disposent d'une abondante source de matières nutritives, les microorganismes se multiplient activement, formant une couche mucilagineuse ou zooglée, au sein de laquelle les composés organiques sont dégradés. Généralement, l'épuration totale nécessite plusieurs passages.

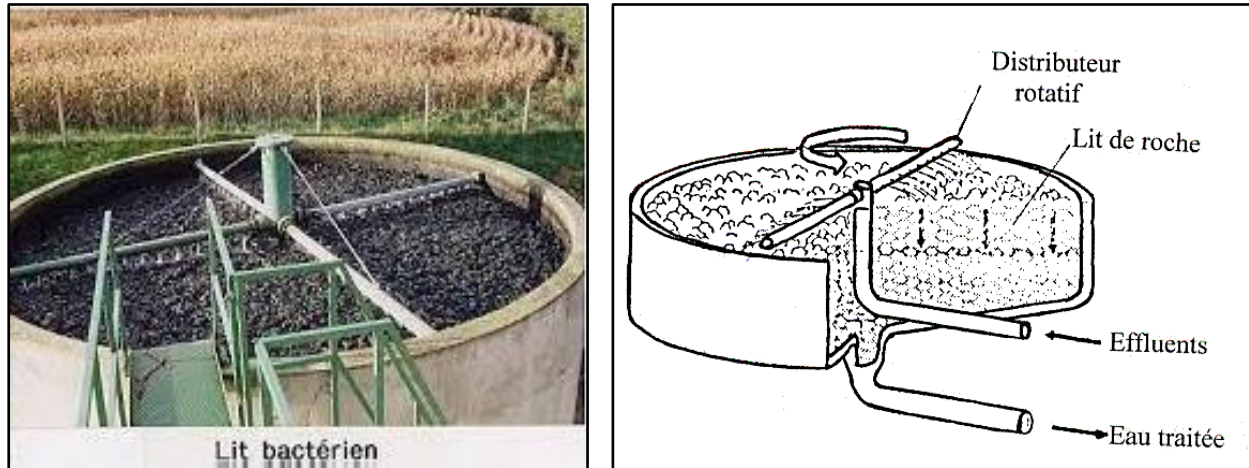


Fig. 4 : Méthode des Lits bactériens

IV.2.4. Elimination des boues

L'épuration des eaux usées produit généralement de grandes quantités de boues et de vases dont l'élimination représente plusieurs difficultés. Après en avoir réduit le volume par déshydratation, les résidus peuvent être incinérés ou utilisés à des fins agricoles. On peut aussi les éliminer par digestion anaérobie dans des cubes hermétiquement closes. Dans ces digesteurs, les matières organiques sont d'abord fermentées et transformées en alcools et en acides organiques. D'autres microorganismes adaptés aux conditions acides métabolisent ces produits et transforment une partie en gaz carbonique et en hydrogène. En fin les bactéries méthanogènes prennent le relais, elles élaborent du méthane (CH_4), et du sulfure d'hydrogène (H_2S). Alors que le sulfure d'hydrogène est éliminé dans l'eau où il est très soluble, le méthane peut être récupéré et servir à différents usages.

IV.3. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est un traitement complémentaire qui est effectué après un traitement primaire physico-chimique et un traitement secondaire biologique. Après épuration biologique, les eaux passent dans des étangs à faible profondeur où elles séjourneront quelques heures ou quelques jours, selon la taille des étangs et le débit de la station. La vie est ordinairement du type « oligo-saprobie ». Les matières azotées sont alors sous forme de nitrates, les valeurs de la DBO et la DCO tombent rapidement à des valeurs très basses. Par contre le taux de matières en suspension augmente car les algues se développent rapidement. En vue de la lutte contre l'eutrophisation, il est recommandé, parfois exigé, d'éliminer les nitrates et les phosphates (Leroy, 1994).

Le traitement tertiaire regroupe un ensemble de techniques destinées à réduire la concentration des éléments nutritifs résiduels (comme le phosphore et l'azote),

polluants organiques résistants et des éléments traces métalliques (Cirja et al. 2008). On distingue différents types de traitements [1,2] :

- ✓ Filtration biologique par la technique d'affinage (pour l'élimination des MES ou la DBO5) ;
- ✓ Déphosphatation chimique ;
- ✓ Elimination de la DCO ;
- ✓ Désinfection (traitement par UV ou ozone).

L'eau est passée par différents réservoirs avec des bactéries et dans des conditions différentes. Ensuite, les boues sont récupérées lors d'un nouveau passage dans un clarificateur. Le traitement en UV est utilisé pour dénaturiser les molécules non traitées qui sont sensibles à ces rayons.

V. Toxicité

V.1. Notion de toxicité

A partir d'une certaine concentration, certains éléments contenus dans l'eau deviennent toxiques vis-à-vis des êtres vivants dans le milieu. Cette notion de dose est fondamentale, car la plus part des éléments sont toxiques à partir de certaines doses ou vis-à-vis de certains organismes (y compris le sel, l'oxygène...). A contrario, l'ensemble des éléments dits toxiques ne le sont pas en deçà d'une certaine quantité, et peuvent même être utiles à faible dose (Gaujous, 1995).

V.2. Manifestation de la toxicité

Les métaux lourds présentent généralement une toxicité spécifique au niveau des systèmes biochimiques à l'intérieur de la cellule. N'étant pas dégradables à l'état métallique, les métaux lourds une fois absorbés, persistent dans l'organisme puis ils sont excrétés (Sabhi, 1998). La toxicité des métaux lourds ou des substances toxiques peut se manifester directement au niveau d'une espèce ou par accumulation au long de la chaîne alimentaire.

V.2.1. Manifestation directe

V.2.1.1. Toxicité aiguë (court terme)

Les effets des intoxications aiguës sont généralement rapides, sévères et provoque souvent des mortalités supérieures à 50 % de la population des organismes testés en une période relativement courte (96 heures à 14 jours) (Sabhi, 1998).

V.2.1.2. Toxicité subchronique ou chronique (moyenne et long terme)

Les effets des toxicités chroniques ou subchroniques peuvent avoir lieu suite à une simple exposition, ou à des expositions répétées à moyen ou à long terme à des doses faibles de toxique ayant un effet cumulatif.

V.2.2. Manifestation par accumulation

L'apparition des effets toxiques se fait au niveau des éléments terminaux de la chaîne trophique ; on cite l'exemple du Clear Lake en Californie où un insecticide (TDE) répandu à des doses de 0,02 ppm s'est retrouvé concentré à 2500 ppm dans les graisses d'oiseaux (grèbes) dont il a provoqué la quasi-disparition (Gaujous, 1995).

V.3. Le toxique en milieu aquatique et ses implications écologiques

En milieu aquatique, le toxique ou toute substance étrangère peut entraîner naturellement ou accidentellement, la détérioration de la qualité des eaux souterraines, superficielles et des sédiments. Les sources ponctuelles de pollution peuvent se présenter sous forme de décharges des installations industrielles, les sites de dépôts de déchets dangereux et des installations de traitement des eaux usées. La principale source de dissémination des toxiques résulte de l'activité humaine (pesticides, hydrocarbures pétroliers, sels de métaux et autres composés inorganiques, les effluents industriels et urbains).

Dans le milieu aquatique, la concentration, le transport, la transformation et le devenir des produits chimiques sont conditionnées par (Sabhi, 1998) :

- les propriétés physico-chimiques du polluant ;
- la nature de la source de la pollution ;
- le taux d'introduction des produits chimiques dans l'environnement ;
- les facteurs environnementaux du système aquatique affecté par les apports incessants des substances chimiques telles que : la température, la salinité, le pH, le flux, la profondeur, la quantité de matériaux en suspension, taille particulière des sédiments et leur charge organique (carbone).

V.4. Influence du milieu récepteur

Les milieux aquatiques jouent un rôle capital sur les effluents, en assurant leur dilution et leur transformation. Les modifications apportées à des eaux résiduaires sont différentes en milieu fluviale, en milieu estuarien, en zone côtière soumise ou non au balancement de marées, courants océanographiques ou en mer fermée (Sabhi, 1998). Dans les cours d'eau par exemple, il y a une évolution physico-chimique de la minéralisation, des matières organiques, de la température, qui augmente généralement de l'amont vers l'aval, et de l'oxygène qui diminue.

L'évolution des sels minéraux dissous, notamment des composés azotés : suite à la dégradation de l'urée et des acides aminés, ce sont d'abord les formes ammoniacales qui dominent en milieu désoxygéné. Le pourcentage d'ammoniaque non dissocié (NH_3) toxique pour le poisson, augmente avec le pH et la température; lorsque les eaux sont réoxygénées, l'ammoniaque est transformé en nitrates, avec pour stade intermédiaire les nitrites (toxiques) (Goujous, 1995).

En milieu estuarien, il peut y avoir des variations de températures, de densité, de salinité, de pH des apports de matières organiques (acides humiques), nitrates, phosphates, sans négliger la présence de polluants de toutes sortes. En effet, le pH et la température peuvent modifier la solubilité de certaines substances ; la matière organique peut favoriser la formation de complexes, en particulier des chélates. D'autre part, l'excès de matière organique dans la mer peut, provoquer des conditions anaérobiques qui favorisent la précipitation des sulfures de métaux tels que ceux du mercure ; dans le cas du chrome où la réduction en Cr^{3+} (sous forme $\text{Cr}(\text{OH})_3$) entraîne sa précipitation. Dans le milieu récepteur, le mercure inorganique se transforme au niveau des sédiments, en composés alkyles, méthyles, en particulier, ou aryles. D'autre part, bien que le plomb, le mercure et le cadmium soient fortement retenus dans les sédiments et n'existent qu'à de très faible concentrations en milieu marin, il a pu être constaté un transfert de toxiques à travers les différents maillons de la même chaîne trophique de poisson à tel point que la concentration du Pb, Cd ou du Hg au niveau du prédateur final soit dangereuse pour l'homme suite à leur consommation (Sabhi, 1998).

V.5. Interaction entre polluants

Dans les mollusques l'absorption du cuivre par *Mytilus edlis* est réduite par la présence du cadmium et du zinc. Ce dernier interfère aussi avec le processus d'accumulation du cadmium. Il existe aussi les interactions entre les métaux et d'autres substances chimiques comme les pesticides et les ions majeurs (sodium, potassium, calcium et le magnésium). En général les interactions réduisent l'absorption des métaux (Sabhi, 1998).

VI. Définition et classification des métaux

VI.1 Définition

Un métal est un corps simple ou composé, généralement solide, possédant un certain nombre de propriétés physiques qui caractérisent l'état métallique et dont les plus importantes sont : la conductibilité électrique et thermique, la plasticité (malléabilité, ductilité...), le haut pouvoir réflecteur et la possibilité d'émettre des électrons, effet thermoélectrique, photoélectrique...etc. D'un point de vue chimique, les métaux s'opposent en cela aux non métaux, et peuvent être caractérisés par un ensemble de propriétés telles que la formation de chlorures, sulfures, et quelquefois hybrides ioniques... (Sabhi, 1998).

VI.2. Classification

La propriété des éléments chimiques dépend de la configuration électronique de leurs atomes et varie avec le numéro atomique dans la voie systématique. La périodicité des propriétés est montrée par l'arrangement des éléments dans le tableau périodique. Suivant leur comportement physico-chimiques, on a les métaux légers (H, Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Cs, Ba, Fr, Ra) ; les métaux fragiles (Se, Ti, V, Cr, Mn, Y, Zr, Nb) ; les métaux ductiles (Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Tl, Ru, Rh, Pd, Ag) ; les lanthanides (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) ; les actinides (Ac, Th, Pa, U ; Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr) ; les métaux à bas point de fusion (Zn, Ga, Ge, Cd, In, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, Bi, Po) ; les non métaux (B, N, O, F, Si, P, S, Cl, As, Br, Te, I, At) ; et les gaz nobles (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn).

Références bibliographiques

- CHALAOU, A.** (1996) - Etude hydrobiologique de l'oued Boufekrane (Meknes), impacte sur l'environnement et la santé- Thèse de doctorat d'Etat, Fac. Sc. Meknes
- Cirja, M., Ivashechkin, P., Schäffer, A. & PFX. Corvini (2008)** - Reviews in Environmental Science and Biotechnology 7-1 (2008) 61-78.
- DEBROISE, A.** (2000) - Industrie : La voie du recyclage – Science et vie, N° 211, juin 2000
- DERRAZ, M.** (1995) - Etude de l'eutrophisation de la retenue du barrage el Kansera (Maroc) " Caractéristiques physico-chimiques, biodisponibilité du phosphate sédimentaire, écophysiologie de Microcystis et relation des Blooms avec les paramètres environnementaux"- Thèse de doctorat ès-sciences, Fac. Sc. Meknes
- EL FELLAH IDRISSE, B. (2002)** - Evaluation et étude des paramètres physico-chimiques de la pollution générée par les unités industrielles dans la région de Fès- Mém. fin d'étude (D.E.S.A), Fac. L.Sc.H. Sais Fès.
- GAUJOU, D.** (1995) - La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire- 2^{ème} édition, technique et documentation 1995 Paris
- KHAMLICHI, L.** (1997) - Etude de la survie des indicateurs de la Pollution fécale et de la répartition des Bactéries Blessées dans les eaux usées de la ville de Fès - Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Fac. Sc. Dhar el Mahraz Fès.
- LEROY, J.B.** (1994) - La pollution des eaux- Que sais-je ? troisième édition, imprimerie des presses universitaires de France
- MIDDLETON, R.** (1995) - Les dossiers de l'environnement : L'eau potable une ressource précaire – United States Information Agency, mars 1995
- OMS,** (1989) - L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandation à visées sanitaires- Rapp.tech.

OUARYACHI, M. (1999) - Contribution au traitement et à la valorisation des déchets solides et liquides de tanneries et de dinanderies implantées à Fès – Thèse d'état, Fac. Sc. Dhar el Mahraz Fès

RAMADE, F. (1992) - Elément d'écologie appliquée : action de l'homme sur la biosphère - 4^{ème} édition, Ediscience international Paris

SABHI, Y. (1998) - "Etude des Tendances des Contaminations des organismes Marins de la Côte Méditerranéenne Marocaine par les Métaux Lourds (Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Tl, Zn et Cu)" Aspects Environnementaux et expérimentaux - Thèse de doctorat d'Etat, Fac. Sc. Dhar el Mahraz Fès

Webographie :

[1] <http://www.vincentdauphin.fr/le-traitement-des-eaux-usees/>

[2] Degrémont, Mémento technique de l'eau, *Lavoisier*, (1989) Vol 1, Paris.