

2.3. Les eaux usées

Introduction

Nombreuses maladies qui affectent la population de la planète sont liées en partie à l'insuffisance de l'évacuation des eaux usées domestiques et industrielles. Ces dernières sont devenues de plus en plus énormes devant le développement industriel, l'essor économique, l'expansion démographique et la grande densité des zones urbaines. Ces eaux usées constituent en absence d'un traitement un danger croissant pour la santé humaine et le milieu naturel à cause de leurs charges en matières chimiques toxiques et de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites...). Elles constituent donc des menaces permanentes pour la santé aussi bien humaine qu'animale.

Selon l'OMS, 80% des maladies qui affectent la population de la planète sont liées à la pollution des eaux [14]. En effet, la plupart des microorganismes qui sont à l'origine des grandes épidémies historiques d'origine hydrique, ont pour habitat normal les intestins de l'homme et certains animaux à sang chaud. C'est pourquoi, le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau notamment les eaux usées paraient de plus en plus indispensable.

1 Caractéristiques des eaux usées :

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales.

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'auto-épuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique, peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable.

1.1 Les eaux domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et d'en germes fécaux.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- de 70 à 90 grammes de matières en suspension
- de 60 à 70 grammes de matières organiques

- de 15 à 17 grammes de matières azotées
- 4 grammes de phosphore
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

1.2 Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution. Les grandes entreprises sont toutes équipées d'unités de traitement internes. En vingt ans, la pollution industrielle a été réduite de moitié. Ce sont actuellement les PME (garages, pressing, entreprises de peintures ...) qui produisent plus de 90% de la pollution par déchets toxiques.

1.2.1 Les eaux pluviales

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement ("délestage") de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

1.4 Comment mesure-t-on les matières polluantes contenues dans les eaux usées ?

Trois principaux paramètres mesurent les matières polluantes des eaux usées domestiques :

- Les matières en suspension (MES) exprimées en mg par litre. Ce sont les matières non dissoutes de diamètre supérieur à 1 μ m contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques et décantent spontanément.
- La demande biochimique en oxygène (DBO), exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommé au bout de cinq jours. C'est la DBO₅, demande biochimique en oxygène sur cinq jours.

- **La demande chimique en oxygène (DCO)**, exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder par voie chimique ces matières.

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants, à cause des problèmes d'eutrophisation expliqués plus haut. Cette fragilité du milieu naturel a été prise en compte par la réglementation avec la notion de "zones sensibles".

Pour évaluer la traitabilité d'une eau usée par voie biologique on prend en compte :

- **Le ratio DCO/DBO5** qui ne doit pas excéder 3. Au delà la fraction représentée par la DCO « dure » (non biodégradable) est trop importante par rapport à la fraction de la DCO biodégradable (mesurée par la DBO5).
- **Le ratio C/N/P** qui idéalement devrait être 100/5/1 pour une digestion optimale de la pollution par les biomasses épuratrices.

Les eaux usées urbaines contenant aussi des contaminants microbiologiques, bactéries, virus pathogènes et parasites, le rejet des eaux usées à proximité de lieux de baignade ou de zone d'élevage de coquillages fait un risque pour la santé. Il doit faire l'objet de précautions particulières.

Pour quantifier globalement les matières polluantes contenues dans les eaux usées domestiques (et assimilées), on utilise comme unité de mesure l' "équivalent-habitant" : EH. La notion d'équivalent habitant est utilisée pour quantifier la pollution émise par une agglomération à partir de la population qui y réside et des autres activités non domestiques. Selon la définition de la directive européenne du 21 mai 1991 "relative au traitement des eaux urbaines résiduaires", un équivalent-habitant représente une DBO5 de 60 g d'oxygène par jour. A titre d'exemple, la quantité de matières polluantes produite par Paris représente 13,4 millions d'équivalents-habitants par jour. Cette notion sert aussi à déterminer la capacité de traitement d'une station d'épuration urbaine.

Les organismes vivants et leur rôle dans le traitement des eaux usées : Ces multiples espèces peuvent varier en fonction des effluents traités, des conditions climatiques, de la charge organique, de la profondeur d'eau.

Les principaux groupes sont les bactéries, les algues et le zooplancton.

Les bactéries Ce sont des micro-organismes qui peuvent dégrader et assimiler une grande partie de la matière organique contenue dans les eaux usées. Ces bactéries rejettent dans le milieu des produits de dégradation qui sont les

matières minérales solubles et les gaz dissous. En fonction de l'équilibre du milieu et en particulier des taux d'azote et de phosphore, les bactéries les mieux adaptées se développent rapidement et dominent les autres espèces. On constate une régulation naturelle du taux bactérien en fonction de la matière organique présente dans le milieu et des autres conditions de développement (température, ensoleillement, pH, oxygène dissous...). Quelque soit le processus biologique considéré, on trouve : Les bactéries aérobies qui transforment en présence d'oxygène dissous, la charge organique dissoute en matières minérales (nutriments) et gaz. Les bactéries du cycle de l'azote assurent la nitrification (formation de nitrites) et la nitrification (formation de nitrates).

Les bactéries anaérobies qui sont essentiellement méthanogènes (formation de méthane) réalisent la transformation de la matière organique au niveau des sédiments.

Les algues : Ce sont des plantes microscopiques planctoniques. Elles sont représentées dans les lagunes principalement par les espèces suivantes : algues bleues (cyanophycées) proches des bactéries, algues vertes (chlorophycées), algues brunes (chrysophycées), eugléniens.

Dans le cas d'un bon fonctionnement, les bassins de lagunage (surtout ceux en fin de filière) ont une couleur verte plus ou moins prononcée. La chlorophylle contenue dans les micro-algues leur permet d'utiliser la lumière du soleil comme source d'énergie : c'est la base du processus de la photosynthèse. Les algues se développent à la lumière en prélevant dans l'eau du gaz carbonique et des sels minéraux et en y rejetant de l'oxygène. Les algues sont ainsi les principaux producteurs d'oxygène des lagunes. Cette production s'effectue essentiellement dans la couche d'eau superficielle (jusqu'à 40-50 cm). Dans les bassins du lagunage les microalgues se succèdent au cours du temps. Cela constitue une pollution apparemment négligeable car l'épaisseur des sédiments dans les derniers bassins de lagunage ne dépasse pas les 5 à 10 centimètres. L'effluent rejeté dans le milieu récepteur contient donc des microalgues en suspension représentant indirectement une pollution particulaire organique importante (leur teneur en matières en suspension pouvant atteindre 0.2

kg/m³). Les bassins de lagunage sont classés parmi les procédés moyennement performants permettant un rejet de niveau d (120 mg/l de MES). Il n'existe pas de station de lagunage naturel qui possède une unité de récupération et de valorisation des microalgues rejetées . Y.Libes Les eaux usées et leur épuration

Le zooplancton : La faune a une importance essentielle dans le fonctionnement des lagunes et de nombreux organismes participent activement à l'épuration du milieu (prédation, filtration....) On trouve : Les protozoaires, qui sont des organismes unicellulaires prédateurs des bactéries. Ils constituent le seul zooplancton hivernal réellement abondant dans les derniers bassins de lagunage. Les rotifères, sont des vermiens microscopiques, ils filtrent activement le phytoplancton et sont capable de s'accommoder à des taux d'oxygène dissous très faibles. Les copépodes, sont des crustacés de petites tailles qui nagent à la surface de l'eau et ont un développement limité dans l'espace et le temps. Leur spectre alimentaire est pourtant très étendu : microalgues, proies vivantes... Les cladocères, sont également de petits crustacés. Les daphnies sont les plus répandues et les plus caractéristiques. Leur rôle est intéressant car elles favorisent l'abatement du taux des matières en suspension. Elles permettent ainsi un éclaircissement du milieu et la pénétration de la lumière. Par contre elles provoquent une diminution du taux d'oxygène dissous à cause de leur respiration et de l'élimination des microalgues.

3.2.3 Mécanisme d'élimination de la matière organique : Le processus biologique d'épuration par cette écotechnique permet l'élimination des matières organiques biodégradables avec production de sels minéraux. Ceci conduit au phénomène d'eutrophisation qui se manifeste par une prolifération de micro-algues qui croissent sous l'effet conjugué de la présence des dérivés azotés et phosphorés dans l'eau et de la photosynthèse due aux radiations solaires. Ce phénomène d'eutrophisation si nuisible pour les eaux naturelles, s'avère profitable dans le processus du lagunage. La destruction de la matière organique s'opère grâce à une association biologique extrêmement large.

3.2.4 Performances du lagunage au niveau bactériologique : C'est un avantage essentiel que présente le lagunage par rapport aux techniques " intensives "

d'épuration des eaux usées. Le procédé de traitement par lagunage est en effet considéré comme parfaitement efficace au point de vue bactériologique. En matière de décontamination microbienne, on parle souvent d'abattements de la charge bactériologique en puissance de 10 (unité log 10 = UL). Sauf cas particulier, on recherche une réduction d'au moins 4 UL, soit un rendement de 99.99%. Cette efficacité est due à de multiples facteurs d'ordre physico-chimique ou biologique. L'épuration microbiologique dépend du temps de séjour mais aussi du nombre de bassins mis en œuvre. Trois bassins en série (abattement de 4 UL) semblent en général un compromis acceptable pour un traitement principal par lagunage naturel. Y.Libes Les eaux usées et leur épuration

3.2.5 Les différents types de lagunage : Le lagunage est dépendant des facteurs climatiques surtout de la température (qui va favoriser l'action des bactéries, l'évaporation), du vent (qui va favoriser les échanges gazeux, le brassage de l'eau); la pluviométrie (pour le niveau de l'eau), et l'ensoleillement (qui permet la photosynthèse). Le rendement épuratoire varie selon la taille, la forme et le nombre de bassins qui est fonction du temps de séjour et des conditions climatiques locales. Un système de lagunage est généralement constitué de trois bassins en série. Sur ce modèle de base, de nombreuses filières de traitement peuvent être adapté selon les besoins.

Le lagunage naturel (aérobie)

Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matière vivante par les chaînes alimentaires aquatiques (chaînes trophiques). L'épuration des effluents est réalisée essentiellement par des bactéries aérobies dont l'oxygénation est assurée par l'action chlorophyllienne de végétaux qui participent aussi à la synthèse directe de la matière organique.

Le lagunage aéré

Contrairement au lagunage naturel où l'oxygène est fourni par la photosynthèse et le transfert à l'interface eau-atmosphère, dans le cas du lagunage aéré l'oxygène est produit artificiellement (aérateurs mécaniques, insufflation d'air...) A la différence des "boues activées", il n'y a pas de

recirculation de la culture bactérienne. C'est donc un procédé intermédiaire entre le lagunage naturel et les procédés biologiques traditionnels. Le traitement se compose de deux types de lagunes : lagune d'aération et lagune de décantation.

Le lagunage anaérobie

Dans ces lagunes, le rendement d'épuration escompté dépend essentiellement du développement d'une fermentation méthanique. Il n'est de ce fait applicable que sur des effluents à fortes concentrations et, le plus souvent, à titre de pré-traitement avant un deuxième stade d'épuration de type aérobie. Les principes fondamentaux de ce système d'épuration sont surtout utilisés en climat tropical.

Le lagunage à haut rendement

C'est une technique particulière où l'épuration des eaux usées est obtenue grâce à une production algale particulièrement intensive. Dès sa création, le lagunage à haut rendement a été considéré non seulement comme une technique d'épuration des eaux usées, mais aussi comme un procédé de production d'une biomasse algale d'intérêt alimentaire, permettant donc une valorisation des eaux usées des villes et des industries agroalimentaires. Le lagunage à haut rendement offre aujourd'hui certainement le plus grand potentiel de développement biotechnologique basé sur les micro-algues.

3.2.6 Pourquoi le lagunage n'est-il pas généralisé ?

Le lagunage est dans certains domaines plus performant que les stations d'épuration, il représente des coûts d'investissement et de fonctionnement bien inférieur également. En revanche il nécessite une surface importante par équivalent habitant et des temps de séjours de l'eau usée extrêmement important. Une telle technologie n'est donc pas compatible avec les besoins d'une grande agglomération en terme d'emprise au sol et de flux quotidiens à traiter