Université Cadi Ayyad

Faculté des Sciences et Techniques

Département des Sciences de la Terre

الوكالة المستقلة المتعددة الخدمات بأكادير

Régie Autonome Multi Services d'Agadir

Licence en Sciences et Techniques
Eau & Environnement

Mémoire de Fin d'Etudes

Contribution à l'élimination de la pollution azotée et phosphatée : Exemple de la STEP de M'ZAR (Agadir, Maroc)

Réalisé par: Nourjihane Boutalibi

Encadrée par :

- Mohamed El Mehdi SAIDI (Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech)

- Mustapha MOUTI (RAMSA, Agadir)

Soutenu le 16 Février 2018

Devant le jury composé de :

- **Mohamed El Mehdi Saidi**
- **Abdelfattah Benkaddour**
- **Mustapha Mouti**

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017-2018

A ma Mère

A mon Père

Mes petits frères Oussama et Souhayl

A la mémoire de mon grand-père et mon frère Yassine

A toute la famille mes chers amis et mes collègues

À toutes les personnes que je porte dans le cœur et qui se reconnaîtront car elles en font autant.

Aucun mot si sacré soit-il, ne suffira à apprécier à sa juste valeur, le soutien, le sacrifice, la générosité, la bonté et les conseils qui m'ont conduit à la réussite de ce projet.

Je vous dédie ce modeste travail avec

tous mes souhaits de bonheur, santé,

réussite et longue vie.

REMERCIEMENT

Au terme de ce stage, je tiens à exprimer ma vive reconnaissance et mon dévouement à Monsieur Ahmed Oukkas, Directeur Général de la RAMSA

Ma reconnaissance et mes vifs remerciements vont également au chef des différents services de la division exploitation et assainissement que j'ai visité durant la période de stage :

(Mr. Houari) : Service suivi épuration, (Mr. Saad) : service stations et réservoirs, (Mlle. Karima) : service suivi dépollution industrielle, (Mme. Assia) : service réutilisation des eaux usées, (Mr. Essami): service travaux d'exploitation Eau et Assainissement, (Mr. Romi) : service station de relevage, Mme. Sekkat contrôle qualité des eaux. Ainsi (Mr. Soussi) chef de la division.

J'exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon Co-encadrant Mr. mustapha Mouti Chef bureau laboratoire d'analyse des eaux, qui m'a accueilli dans son laboratoire pour sa contribution hautement distinguée , pour le temps qu'il m'a consacrée tout le long de cette période, et les réponses à toutes mes interrogations et ses suggestions pertinentes dans la recherche .

J'adresse également mes sincères remerciements et une très grande reconnaissance au Professeur Mohamed el Mehdi Saidi qui m'a accordé sa confiance pour m'encadrée, pour sa disponibilité, son sens d'appréciation scientifique, sa rigueur pour que le travail soit bien fait.

Je remercie chaleureusement Mlle Bourgeoini Yamina, enseignante à la Faculté des Sciences et technique et responsable de la filière eau et environnement pour sa disponibilité et son soutien.

Je ne saurais clôturer cette liste de remerciements et de reconnaissances, sans exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin.

SOMMAIRE :

Introduction Générale et Problématique……………………………………………………………..8
Chapitre 1: Description de l'organisme d'accueil...………………………………………….…….9
1 Présentation de la RAMSA…………………..………………………………………………… 9
2 Présentation de la STEP M'ZAR……….……………………………………………………….12
2-1: Traitement Primaire…………………………………………………………………………….12
2-2 : Traitement secondaire…………………………………………………………………………14
2-3 Traitement tertiaire ……………………………………………………………………………..15
Chapitre 2:Paramètres de qualités et traitements des eaux usées……………………………………...16
1-Définition des eaux usées………………………………………………………………………16
2- Origines des eaux usées……………………………………………………………………… 16
2-1 : Eaux domestiques……………………………………………………………………… ….16
2-2 : Eaux industrielles………………………………………………………………………..…16
2-3: Eaux agricoles ………………………………………………………………….……...17
2-4: Eaux pluviales……………………………………………………………………………… ...17
3- Caractérisation des eaux usées…………………………………………………………………...17
3-1 : Paramètres physico-chimique…………………………………………………………………18
3-1-1 Température……………………………………………………………………………………..18
3-1-2 Le potentiel d'Hydrogène (pH)…………………………………………………………………18
3-1-3 Turbidité…………………………………………………………………………………………18
3-1-4 Les matières en suspension (MES)……………………………………………………………...18
3-1-5 La conductivité électrique ……………………………………………………………………...19
3-1-6 La demande biochimique en oxygène (DBO5)…………………………………………………19
3-1-7 La demande chimique en oxygène (DCO)………………………………………………………19
3-1-8 La biodégradabilité………………………………………………………………………………19
3-1-9 Les matières azotées …………………………………………………………………………….20
3-1-10 Matières phosphatées ………………...……………………………………………………… 20
3-2 Paramètres microbiologiques ………………………………………………………………….…..20
3-2-1 Protozoaires……………………………………………………………………………………….. 20
3-2-2 Helminthes ……………………………………………………………………………………...20
3-2-3 Virus…………………………………………………………………………………………….. 21
3-2-4 Les coliformes totaux et fécaux (CT) et (CT) ………………………………………………..21
3-2-5 Les streptocoques fécaux …………………………………………………………………21
3- Les procédés de traitements des eaux usées……………………………………………………...21
3-1 Le prétraitement…………………………………………………………………………………21
3-1-1 Le dégrillage……………………………………………………………………………………22
3-1-2 Le dessablage……………………………………………………………………………………...22
3-1-3 Le dégraissage / déshuilage …………………………………………………………………..22
3-1-3-1- Le dégraissage……………………………………………………………………………..22
3-1-3-2- Le déshuilage ……………………………………………………………………………...23
3-2 Traitement primaire ……………………………………………………………………………….23
3-2-1 La décantation physique naturelle………………………………………………………………… 23
3-2-2- Les traitements de décantation physico-chimiques……………………………………………..24
3-2-3- La filtration ……………………………………………………………………………………..24

3-3 Les traitements secondaires ou les traitements biologiques ……24
3-3-1 La boue activée…… 25
3-3-2 Traitements anaérobies……..28
3-3-3 Traitements aérobies……29
3-3-3-1 Les cultures fixes : les lits bactériens ou disque biologique ……29
3-3-3-2 Les cultures libres (boues activées)……...29
3-3-3-3 lagunages……...30
3-3-3-4 Filtration/percolation……31
3-4 Traitement tertiaire……...31
3-4-1 Elimination biologique de l'azote et du phosphore……...32
3-4-1-1 Elimination de l'azote……32
3-4-1-2 L'élimination du phosphore……...32
3-4-2 Elimination et traitement des odeurs……33
3-4-3 Les principaux moyens de désinfestation reconnus……..33
3-4-3-1 chloration……...34
3-4-3-2 La chloration-déchloration……34
3-4-3-3 L'ozonation……34
3-4-3-4 Le rayonnement ultraviolet……35
CHAPITRE 3: Problématique de la pollution azotée phosphatée……..36
Introduction……36
1 Le Phosphore……37
1-1 Les différentes formes de phosphore……...37
1-2 Exigences aux stations d'épurations en matière de rejets……38
1-3 Elimination du phosphore……39
1-3-1 Déphosphatation biologique……39
PRINCIPE……..39
1-3-1-1 En milieu anaérobie……...39
1-3-1-2 En milieu aérobie……...39
1-3-2 Déphosphatation physico-chimique……..40
1-3-2-1 Les sels métaux……40
1-3-2-2 La chaux……41
Conclusion ……41
2 l'azote ……42
2-1 les différentes formes et les principaux sources……..42
2-2 Exigences aux stations d'épurations en matière de rejets……...43
2-3 processus d'élimination de l'azote……...44
2-3-1 Procédés physico-chimiques……44
2-3-1-1- Principe de l'échange d'ions…… 44
2-3-2 Procédés biologiques ……...45
Principe……...45
2-3-2-1 l'ammonification ……...47
2-3-2-2 La nitrification ……..47
2-3-2-3 Dénitrification ……...47
CHAPITRE 4 : Réutilisation des eaux épurées……..48
Principe……...48
1 Différente utilisation des eaux usées traitées…….. 48
2 Situation de réutilisation des eaux usées traitées en agriculture…… .49
3 Évaluation des risques sanitaires ……49

4 Aspect nutritif des eaux usées traitées ……50
4-1-Charge nutritive en NPK……...……...50
5 Évaluation des risques sanitaires ……....51
6 Avantages de la réutilisation des eaux usées traitée……....52
7 Réutilisation des eaux usées épurées dans le grands Agadir……..…52
7-1 Production des eaux usées épurées dans le Grand Agadir : Station d'épuration……..…52
7-2 Possibilités de réutilisation des eaux usées épurées de la station M'ZAR……...53
7-3 Superficie et besoin en Eau pour chaque zone d'irrigation…..……..…53
Conclusion…….…….55
Chapitre 5 : Partie expérimentale……...…..……...……....56
Objectifs :……..……..56
1-Réactifs et mode opératoire :…….……..56
1-1 Dosage nitrate :…….……56
1-2 Dosage phosphate ……56
2 Résultats des trois prélèvements…..…….56
3 Analyse……..……..57
4 Solutions pour luttées contre la surconcentration…..……..58
Conclusion général…….59

Liste des figures :

Figure 1 : Zone d'intervention de la RAMSA 11
Figure 2 : Organigramme de la RAMSA 12
Figure 3: Décanteurs.....14
Figure 4 : Couche supérieure du gravier.....15
Figure 5 : Filtre à sable.....15
Figure 6 : Réacteurs ultraviolets.....16
Figure 7 : la pollution journalière par personne.....17
Figure 8: procédés du traitement des boues.....27
Figure 9 : chaine trophique des boues activées (Lazarova, 1999)..... 28
Figure 10 : la quantité de l'azote en fonction de son passage par les différentes phases 33
Figure 11: cycle simplifier du phosphore.....39
Figure 12 : Courbe de relargage et de réabsorption du phosphore.....40
Figure 13 : cycle de l'azote.....43
Figure 14 : origines de la pollution des eaux aux nitrates.....44
Figure 15 : Processus de l'échange d'ion 45
Figure 16 : Schéma réactionnel de la minéralisation de l'azote.....45

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Concentrations limites en phosphore dans les rejets des stations d'épuration Urbaines situées en zone sensible selon la pollution organique reçue.....39
Tableau 2 : Concentrations limites en nitrate dans les rejets des stations d'épuration.....44
Tableau 3 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).....51
Tableau4 : Absorption en NPK (en %) en fonction du mode d'irrigation (FAO/RNEA, 1992).....52
Tableau 5 : Les volumes annuels prévisionnels des eaux usées qui seront produites par la station M'ZAR et qui seront réutilisables en irrigation 54
Tableau 6 : réutilisation des eaux épurées de la STEP M'ZAR 54
Tableau 7 : Besoin d'irrigation à la région d'Agadir.....55
Tableau 8 : Entrée de la station.....57
Tableau 9 : Sortie de la station.....58

Graphiques et Annexe :

Graphique 1 : dosage de la phosphate.....58
Graphique 2 : dosage phosphate.....58
Annexe 1 : Résumé de l'évaluation des risques sanitaires associés à l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation.....62
Annexe 2 : Partie pratique.....63

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui nécessite d'être protégée, défendue et traitée. Elle est une ressource vitale pour l'homme, sa survie, sa santé, son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques ainsi que la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution.

Les populations des pays hydro-sensibles ne cessent d'augmenter considérablement et leurs besoins en nourriture et en eau croient continuellement. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en développant l'agriculture extensive et/ou en augmentant simplement la mobilisation des ressources en eau conventionnelle disponibles qui, actuellement, s'approchent de leurs limites naturelles. De plus, ces dernières décennies ces mêmes ressources sont exposées à diverses pollutions qui limitent leur utilisation normale et leur vocation principale qui est l'alimentation en eau potable (AEP) (Fazio, 2001).

Pour répondre à cette situation d'épuisement des ressources naturelles et à la protection de l'environnement, particulièrement dans les pays hydro-sensibles. Le recours à l'épuration des eaux usées urbaines, souvent chargées en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, représenterait une source d'eau et d'engrais additionnelle renouvelable et fiable pour l'agriculture d'une part, et d'autre part, permettrait d'atténuer la pression sur les ressources conventionnelles plus adaptées à l'alimentation en eau potable des populations. Il s'agit, en général, de volumes d'eaux importants dont seul un faible pourcentage est traité (Landreau, 1982).

Outre la nécessité de faire face aux défis de la rareté des ressources en eau pour répondre aux besoins accrus et accompagner les grands chantiers de développement, le Maroc devra également faire face aux pressions que subissent ces ressources notamment par les effluents urbains et les rejets industriels qui s'y déversent généralement sans traitement préalable. Ainsi, les ressources mobilisables en eau sont de plus en plus menacées par des sources de pollution qui ne cessent de se multiplier et se diversifier et dont l'impact négatif se traduit directement par des déséquilibres écologiques.

Des quantités importantes de polluants d'origine domestique sont déversées dans les milieux naturels récepteurs. Les volumes annuels des rejets des eaux usées des villes ont fortement augmenté au cours des trois décennies. Ils sont passés de 48 millions à 500 millions de m3 de 1960 à 1996 pour atteindre 700 millions de m3 en 2010. De même, les prévisions établies montrent que ces rejets continueront à croître rapidement pour atteindre 900 millions de m^3 à l'horizon de 2020.

Devant ces besoins en eau douce qui ne cessent de croître et vu l'impossibilité de se contenter seulement de ces ressources naturelles conventionnelles, la recherche de moyens d'épuration adéquats et la réutilisation des effluents d'eaux usées traitées est devenue une exigence sur tout pour les pays aride et semi-aride , et même dans le cas de non recyclage des eaux usées traitées issues des stations d'épuration ; ces effluents, ont souvent une charge en azote et en phosphore supérieure aux normes requises car un grand nombre de ces stations présentent des limites dans la rétention des ions phosphate et nitrate en traitement secondaire. Néanmoins, le rejet direct de ces nutriments dans les milieux récepteurs aura un risque sur l'environnement et à la santé publique, ce qui nécessites des traitements complémentaires ou tertiaires afin de permettre une meilleure protection des écosystèmes récepteurs.

CHAPITRE 1: Description de l'organisme d'accueil

1 Présentation de la RAMSA :

La Régie Autonome Multiservices d'Agadir, est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

CREATION :

- Conformément au décret 2/64/394 (29 sept 1964)
- Délibération du syndicat de communes
- Arrêté du Ministre de l'Intérieur n° 3402 le 16 octobre 1980

TACHE :

- Gestion de deux services publics dans le Grand Agadir:
- Distribution Eau (1982)
- Assainissement liquide (1992)

PRESTATIONS TECHNIQUES :

- Coordination avec producteur Eau (ONEP) au niveau conception projets et exploitation quotidienne.
- Etudes et planification
- Alimentation des citoyens et organisation de son périmètre d'action de l'eau potable dans de bonnes conditions de qualité et de débits.
- La collecte, le transport, l'évacuation et éventuellement traitement des eaux pluviales, ménagères ou usées.
- Réalisation, exploitation et entretien d'ouvrages (réservoirs, stations de pompage, canalisation, station de relevage et d'épuration afin d'assurer la réalisation de sa mission.

PRESTATIONS COMMERCIALES :

- Relevé des compteurs
- Traitement et établissement des factures consommations et travaux des abonnés
- Emission des quittances et encaissement
- Suivi et traitement des réclamations des abonnés

ZONE D'ACTION :

- 4 Communes urbaines: Commune Urbaine d'Agadir (regroupant Agadir, Anza, Tikiouine et Bensergao), Commune Urbaine de Dcheira, Commune Urbaine d'Inezgane, Commune Urbaine d'Aït Melloul
- 1 Commune Rurale: Commune Rurale d'Aourir

La RAMSA assure également la gestion des réseaux eau et assainissement du projet HALIOPOLIS situé dans la commune de Drarga et mitoyen au projet de la ville de Tagadirt et la nouvelle station touristique de Taghazout.

La population de cette agglomération est estimée à plus de 800 000 habitants et elle devrait atteindre plus de 1 million d'habitant en l'en 2020.

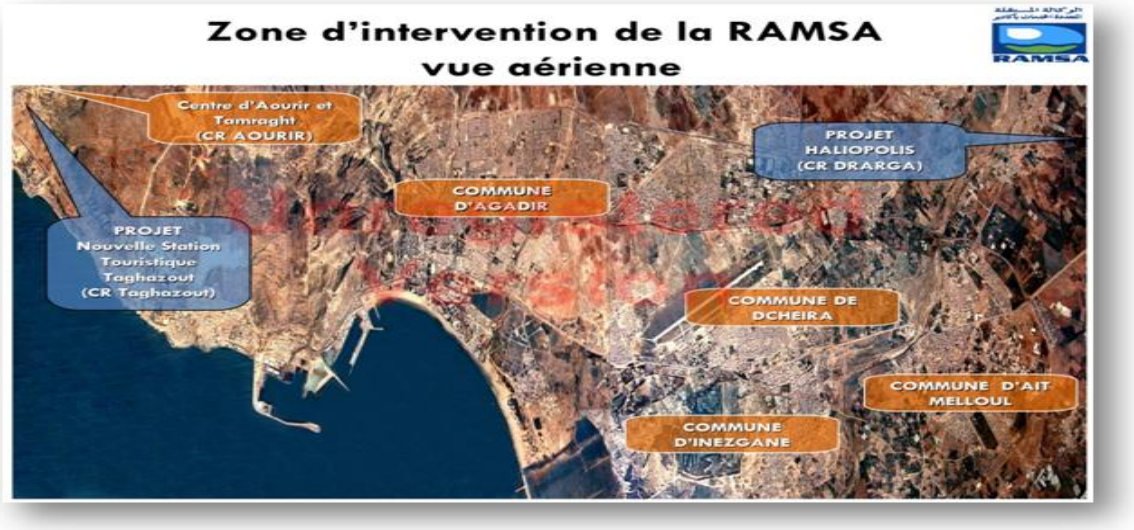


Figure 1 : Zone d'intervention de la RAMSA

ORGANIGRAMMES :

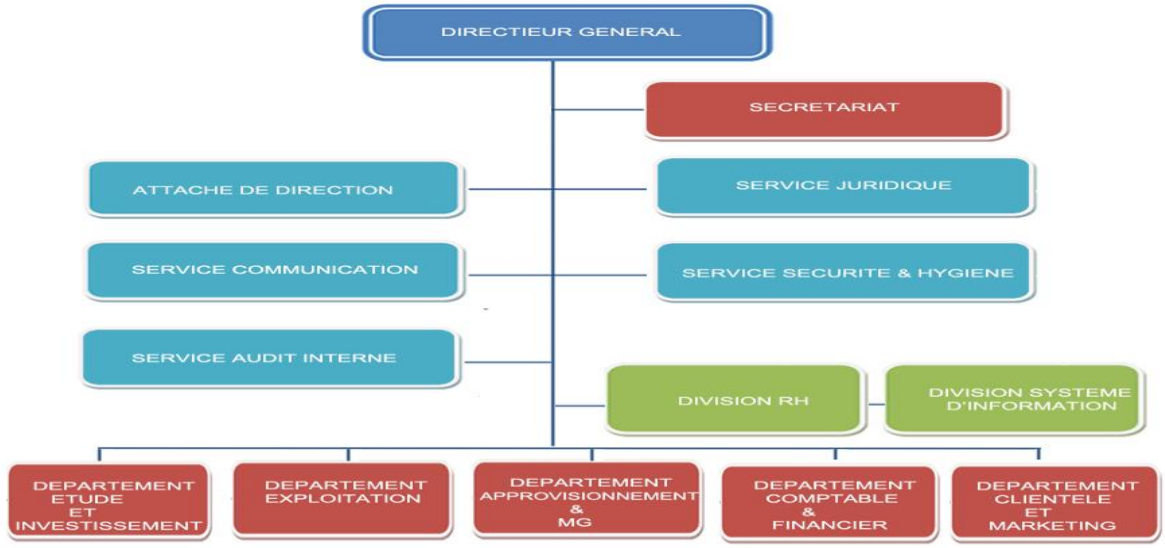


Figure 2 : Organigramme de la RAMSA

Il est à savoir que la production d'eau potable est assurée exclusivement par l'ONEP. Les volumes produits ont atteint 40 millions de m3. La capacité de production peut atteindre en pointe 1 900 l/s pour répondre aux besoins de pointe pendant l'été où la ville d'Agadir connaît une affluence importante. Cette évolution soutenue des besoins en eau est due au développement urbanistique intense que connaît la ville d'Agadir. Par ailleurs et afin de satisfaire les besoins à moyen et à long terme, l'ONEP a programmée à environ 30 km au sud d'Agadir vers Tiznit la réalisation d'une station de dessalement d'eau de mer avec une capacité de production totale de 275.000 m3 d'eau dessalée par jour. Les travaux devront durer environ 24 mois pour une mise en service avant fin 2019.

ESPACE TECHNIQUE :

- Alimentation par les captages souterrains qui sont composés de puits et forages situés au Sud, au Sud-Est et à l'Est de la ville d'Agadir, par la station de traitement de Sidi Boushab alimentée en eaux brutes provenant du barrage Abdelmoumen et une seconde station de traitement (Tamri) sur barrage Moulay Abdellah .
- Configuration spatiale actuelle du réseau du Grand Agadir découpée en 16 (seize) sous réseaux et la RAMSA est en cours de mise en place d'autres étages notamment pour desservir les quartiers des piémonts.
- fin 2016, le réseau de distribution hors branchement totalise un linéaire de 2219 km de conduites.
- Mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG), très moderne, bien efficace, pour la gestion d'un réseau en temps réel à quelques minutes après.
- Disposition de 23 réservoirs répartis sur les différents secteurs de la région ce qui a permis de faire passer la capacité de stockage de 15 800 m3 en 1983 à 127 000 m3 en 2016.

- Construction d'une station de désinfection des eaux épurées de la STEP M'ZAR par ultraviolets pour un débit de 30.000 m3/j avec un émissaire en mer de 700m de longueur
- 20 stations de pompage (puissance totale installée : 3616.5 KW).
- 17 stations de relevage des eaux usées des zones basses vers les grands collecteurs.
- Le linéaire total du réseau de collecte des eaux usées et pluviales fin 2016 est de 2 197 Km.
- une station pilote de traitement par le même procédé d'une capacité de 750 m3/j.
- La réalisation d'une station de traitement primaire et d'un émissaire en mer de 2,5 km dans la zone d'Anza au nord d'Agadir a été également effectuée, ainsi un système de collecte, de transfert et d'épuration d'Aourir, dont les travaux ont été entamés en 2014.

Bref elle représente une gestion de proximité qui porte le souci de la qualité, d'une bonne distribution, réalisation des infrastructures nécessaire et le branchement des zones non desservis pour une exploitation optimale à la fois dans le présent et dans l'avenir ,ainsi la dépollution de la zone Nord d'Agadir ; l'amélioration de la qualité des eaux de baignade des plages d'Agadir pour les rendre conformes à la catégorie A de la législation marocaine, afin d'assurer la durabilité du secteur à vocation balnéaire, et bien notamment la mobilisation d'une ressource en eau (eau usée épurée) consistante pour sa réutilisation dans l'arrosage des golfs er des espaces verts… .

2 Présentation de la STEP M'ZAR

Avant d'être transmis à la STEP les eaux passent par un prétraitement à la station SOUSS afin qu'elles soient dépourvu de toutes les gros matières qui peuvent endommager la STEP au cours des traitements suivant.

2-1 Traitement Primaire :

Principe:

- Décantation de la matière en suspension.
- Digestion anaérobique des boues au fond du bassin.

Capacité et dimensions	Alimentation	Coût
• Capacité de traitement : 75000 m3/j. • Nombre des décanteurs : 13. • Longueur du décanteur:115m • Largeur du décanteur : 35 m. • Profondeur du décanteur à la zone de dépose : 6,59 m. • Profondeur du décanteur à la zone de lagunage : 4,24 m. • Volume total des décanteurs : 210.000 m3. • Abattement de 40 à 60 % de MES, DCO et DBO5.	• Alimentation par refoulement à partir de la station Souss. • Alimentation en parallèle des 8 décanteurs à débit égal. • Temps de séjour de l'ordre de 2.5 jours. • Un décanteur non alimenté (vidange des boues, décanteur de secours).	• 170Millions de dirhams • Prêt contracté auprès de l'Agence Française de Développement

Figure 3: Décanteurs

2-2 : Traitement secondaire :

Principe :

Percolation lente des eaux à travers un milieu granulaire selon 2 processus :

- Mécanismes physiques : rétention à la surface du filtre de la quasi-totalité des matières en suspension de l'effluent et des plus gros micro-organismes pathogènes (parasites).
- Mécanismes biologiques : - Oxydation des substances organiques et de l'azote oxydable dissous dans l'effluent.
  -Dégradation de MO par les microorganismes fixés sur les grains de sable.

Capacité et dimension	Alimentation	Coût
• Débit à traiter : 10000m3/j • Nombre de filtres : 24 • Surface de chaque filtre : 5000 m2 environ • (1 m2 par équivalent habitant) • Epaisseur du filtre : 2 m de sable • Epaisseur du gravier : 0.5m • vitesse d'infiltration : 1m/j • matériau d'étanchéité des fonds des filtres : géo-membrane en PEHD d'épaisseur 1mm • Abattement de 96 à 99 % de MES, DCO et DBO5	• Apport séquentiel en alternant les périodes d'alimentation (3jours) et les périodes de chômage (2jours) • Système de vannage : manuel ou automatique	• 320Millions de dirhams • Prêt contracté auprès de l'Agence Française de Développement

figure 4 : Couche supérieure du gravier

figure 5 : Filtre à sable

2-3 Traitement tertaire :

Principe :

- Désinfection par rayons ultraviolets
- Attaquent les cellules des micro-organismes et stoppent la duplication de leur ADN qui deviennent alors inactifs.

Caractéristiques	Coût
• Capacité de traitement : 30 000m3/j • Pompes (nombre, capacité unitaire) : 6+1 pompes de 270m3/h • Réacteurs (nombre, capacité unitaire): 6 réacteurs de 5000m3/j • Lampes : - Nombre par réacteur :14 lampes Amalgame basse pression. - Longueur d'onde :254 nm. - Dose d'exposition :50mJ/cm2. - Durée de vie : 16000 h. • Temps de contact : 4 secondes. • Abattement :< 1000 CF par 100ml à la sortie.	• 25 Millions de Dirhams

Figure 6 : Réacteurs ultraviolets

Chapitre 2:Paramètres de qualités et traitements des eaux usées

1-Définition des eaux usées :

Les eaux usées sont toutes les eaux provenant des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques telles que les détergents, les urines, les matières fécales, les huiles, les microorganismes (bactéries, virus, parasites …), les pesticides, les engrais..., résultant d'une activité humaine qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance .

2- Origines des eaux usées :

2-1 : Eaux domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement porteuses de pollution organique :

- Eaux ménagères (salles de bains , cuisines ,machine à laver) sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques…
- Eaux-vannes (rejets des toilettes) chargées de diverses matières organiques azotées, phosphaté et de germes fécaux.

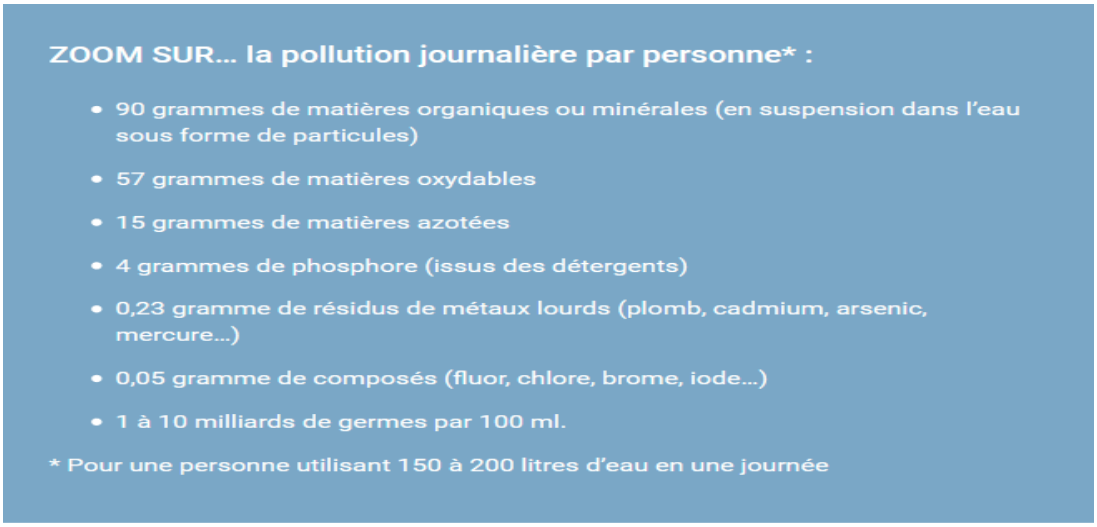


Figure 7 : la pollution journalière par personne

2-2 : Eaux industrielles :

Très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre.

En plus de matières organiques, azotées et phosphorées, elles peuvent contenir :

- des produits toxiques tels que les acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries)
- des solvants
- des métaux lourds
- des micropolluants organiques
- des hydrocarbures…

Certaines de ces eaux usées font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations.

2-3: Eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable, car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitratés et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

2-4: Eaux pluviales :

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés les polluants atmosphériques, poussières, détritus, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées généralement à la fois avec les eaux usées : le système d'assainissement est dit « unitaire », puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entrainant ainsi une pollution intense du milieu aquatique. Ainsi que dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution. Les eaux pluviales peuvent être collectées en même temps que les eaux usées domestiques ou bien séparément. On parle alors de réseau unitaire ou séparatif.

3- Caractérisation des eaux usées :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives.

3-1 : Paramètres physico-chimique :

La mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.

3-1-1 Température :

Il est primordial de connaître la température d'une eau. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique .Donc cette grandeur physique permet de déceler les conditions extrêmes préjudiciables au bon fonctionnement du processus biologique.

3-1-2 Le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH est la mesure du caractère acide ($1 < pH < 7$) ou basique ($7 < pH < 14$) des eaux usées. En général, l'activité biologique pour un développement correct de la faune et de la fore se situe entre 6 et 9 unités de pH. En dehors de cet intervalle, le pH affecte la vie aquatique et par conséquent influence l'autoépuration du milieu naturel. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9.

3-1-3 Turbidité :

La turbidité est un paramètre organoleptique, elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau, elle correspond également à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée.

La turbidité est causée par la matière en suspension (MES) de l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopique…).cependant une turbidité forte peut permettre des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension, la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte.

3-1-4 Les matières en suspension (MES) :

C'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau (Gomella et Guerree, 1978). Les MES sont responsable d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton.

Les MES s'expriment par la relation suivante : MES = 30% MMS + 70% MVS.

a) Les matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la fraction organique des MES qui sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau.

b) Les matières minérales (MMS) :

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc.

3-1-5 La conductivité électrique :

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. Donc, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous (salinité) dans l'eau. L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m), mais on utilise généralement le micro siemens par centimètre (µS/cm). Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500 µS/cm, la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire.

3-1-6 La demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La demande biologique en oxygène est, par définition, la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants à 20°C l'obscurité et pendant 5jours d'un échantillon préablement ensemencé pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans l'eau usée. Elle se résume à la réaction chimique suivante :

Substrat + micro-organisme + O_2 → CO_2 + H_2O + énergie + biomasse

3-1-7 La demande chimique en oxygène (DCO) :

DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques y compris les matières biodégradables et non biodégradables par voie chimique à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine. Généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines ;

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;

DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante : MO = (2 DBO5 + DCO)/3

3-1-8 La biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que, K=DCO /DBO5 :

- Si k < 1,5 : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable ;
- Si 1,5 < K< 2,5 : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si 2,5 < K< 3 : les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si K> 3 : les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures … etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico-chimique.

3-1-9 Les matières azotées :

Les formes de l'azote dans les eaux usées sont : l'azote total (NTK), les nitrates (NO3-) et les nitrites (NO2 -). En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Donc, sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel (Deronzier et al, 2001).

3-1-10 Matières phosphatées :

C'est la quantité de phosphore total contenu dans l'eau sous diverses formes : polyphosphates, organophosphates et orthophosphates. Le phosphore est aussi responsable de l'eutrophisation du milieu aquatique, d'où l'obligation de sa détermination (Martin, 1987).

3-2 Paramètres microbiologiques :

Les eaux résiduaires urbaines contiennent de nombreux germes (champignons, amibes, protozoaires, bactéries, virus) dont certains sont pathogènes. La présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif de les épurer pour préserver le milieu naturel (Olivier et Christelle, 2004).

3-2-1 Protozoaires :

Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. La principale forme pathogène pour l'homme est Entamoeba histolytica, agent responsable de la dysenterie amibienne (Bouhoum et al, 1997).

3-2-2 Helminthes :

Les helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréta des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée (Lamghari et Assobhei, 2005).

3-2-3 Virus :

Les virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau. Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve la poliomyélite, également on peut citer l'hépatite A.

3-2-4 Les coliformes totaux et fécaux (CT) et (CT) :

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale. Ils appartiennent à la classe des Enterobacteriaceaes. Ce sont des bacilles à gram négatif, asporogénes, oxydase négative, aérobies ou anaérobie facultatifs, capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent de gaz, d'acide et d'aldéhyde (Guedira, 2001). On les considère comme bons indicateurs de contamination fécale, ils se cultivent à 44°C.

Les coliformes totaux se développent à 37°C. Ces derniers peuvent avoir une origine non strictement fécale : Le sol, les insectes et les plantes peuvent les héberger. Les coliformes totaux sont inclus dans les germes témoins de contamination fécale de deuxième ordre. (Imziln, 1990).

3-2-5 Les streptocoques fécaux :

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, sont des cocci généralement disposées en diplocoques ou en courte chaine, a gram négatif, immobiles, asporulantes, aérobies facultatifs et possédant un métabolisme fermentatif. Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux a sang chaud. Leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes (Paradais, 1982).

3- Les procédés de traitements des eaux usées :

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible ou réutilisée.

3-1 Le prétraitement :

Le prétraitement des eaux résiduaires urbaines vise à protéger le relèvement des eaux brutes et plus généralement à éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs.

C’est une phase d’épuration grossière. On élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers qui pourraient d’ailleurs endommager les installations par la suite. Notons qu’on retire alors environ 35% des éléments polluants.

Le prétraitement peut comprendre trois opérations :

3-1-1 Le dégrillage:

On fait passer l'eau à travers des grilles plus ou moins espacés pour récupérer tous les éléments solides plus gros que les espacements des grilles. Il permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les canalisations de liaison et les différentes unités des installations et de séparer les matières volumineuses charriées par l'eau brute en vue de les évacuer. Les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les ordures ménagères. Cette opération est effectuée si possible avant la station de relevage afin de protéger les pompes à vis d'Archimède et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes ultérieur du traitement.

3-1-2 Le dessablage :

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables et des graviers et particules minérales plus ou moins fines pour but de les extraire des eaux brutes, à fin d'éviter leurs dépôts dans les canaux et les conduites et à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. L'écoulement de l'eau se fait à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessaleur" entraine leur dépôt au fond de l'ouvrage, ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100µm.

3-1-3 Le dégraissage / déshuilage :

Les graisses et les l'huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs, … etc.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite.

3-1-3-1- Le dégraissage :

a) Le dégraissage avant rejet au réseau :

Actuellement, avant l'admission des eaux dans le réseau de collecte l'administration sanitaire impose aux usagers la mise en place de séparateurs à graisses préfabriqués ou construit sur place.

Ces appareils sont dimensionnés pour un temps de séjours de 3 à 8 min avec une vitesse ascensionnelle de sédimentation d'environ 15m/h (0.25mlmn).

Les rendements de rétention des graisses par ces appareils peuvent atteindre 80 à 90% en fonction de la température qui doit être inférieur à 30°C.

b) Le dégraissage en prétraitement de station d'épuration :

Un dégraissage grossier peut être obtenu soit dans une chambre ou des eaux sont tranquillisées dans un bac à cloisons siphoïdes, soit dans décanteur primaire circulaire muni d'une insufflation d'air favorisant la remontée des particules de graisses et leur agglomération en surface.

3-1-3-2- Le déshuilage :

a) Le déshuilage longitudinal :

L'ouvrage à une forme rectangulaire à circulation longitudinale. Le déshuilage s'effectue dans l'ouvrage par flottation naturelle des gouttelettes d'huile.

b) Les déshuileurs flotateurs :

Ce sont des appareils utilisés en traitement d'eaux résiduaire contenant des pigments, des graisses ou des hydrocarbures, les techniques de flottation habituelle par pressurisation (mise sous pression en petites bulles).

3-2 Traitement primaire :

Ce traitement consiste à la séparation des matières insolubles, par une décantation assistée ou non à un procédé physico-chimique, on distingue :

3-2-1 La décantation physique naturelle :

La décantation est un procédé qu'on utilise dans pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules.

La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. L'usage de réactifs coagulants (FeCl3, Al2(SO4)3, etc.), bien qu'ils ne soient pas souvent employés, peut favoriser l'agglomération des petites particules et faciliter leur séparation par décantation.

On utilise le terme de décantation lorsque l'on désire obtenir la clarification de l'eau brute ; si l'on veut obtenir une boue concentrée, on parle de sédimentation qui a pour but d'éliminer les matières en suspension de la fraction liquide, en utilisant la seul force de gravité. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation).

La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60 % des MES, soit 40% de matière organique, 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires et entraîne également avec elle une partie des micropolluants, (Faby, 1997).

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les boues "primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage. L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroitre le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable.

3-2-2- Les traitements de décantation physico-chimiques :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

- **La coagulation** a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est- à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium).
- **La floculation** a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration

Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée, sinon maîtrisée. Il y a donc un risque de surcoût lié à une mauvaise utilisation, voire un risque environnemental.

3-2-3- La filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension, ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.

3-3 Les traitements secondaires ou les traitements biologiques :

Cette phase vise en particulier les éléments eutrophisants comme l'azote et le phosphore, sans oublier le carbone, constituant de base des matières organiques. Le traitement secondaire ou biologique consiste alors à faire dégrader les matières organiques biodégradables contenues dans l'eau à traiter par des microorganismes. Ceux-ci peuvent être libres, on parle alors de «boues activées », ou fixées sur un substrat, on parle alors de « lit bactérien » ou « disques

biologiques », on trouve ainsi d'autres processus à ce stade biologique tels que les procédés à décantation interne (lagunage).

L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme la boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique.

L'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives, c'est-à-dire qu'elles ont besoin d'oxygène pour vivre et remplir leur tâche, donc pour accélérer le processus, on peut aérer l'eau. On utilise aussi des bactéries anaérobies (qui n'ont pas besoin d'oxygène) pour certaines réactions.

3-3-1 La boue activée :

a) Principe :

Les boues d'épuration désignent les sédiments résiduaires recueillis à différentes étapes de la dépollution des eaux. Il existe plusieurs formes de boues :

- Les boues physico-chimiques (qui sont produites dans les stations physico-chimiques).
- Les boues dites primaires, qui sont le résultat de la décantation des matières en suspension contenues dans les eaux usées brutes. (Celles récupérée après le traitement primaire).
- Les boues secondaires sont formées à partir de la charge polluante dissoute durant la période de dessablage et de déshuilage. (Celles récupérée après le traitement secondaire).
- Les boues "mixtes" formées par les boues primaires et secondaires. Elles vont subir un traitement de stabilisation biologique. Ces boues sont généralement utilisées en agriculture comme engrais.

Dès qu'elles deviennent sèches, elles peuvent être incinérées ou mises en décharge (solution plus coûteuse).

Une fois les eaux usées sont admises dans un bassin de culture de bactéries épuratrices aérobies (en présence d'oxygène) en suspension dans l'eau. Les bactéries qui se développent dans le milieu, aéré par un dispositif spécifique, dégradent la matière organique, et seront ainsi consommées par des microorganismes (protozoaires), qui sont surtout des ciliées. Suivant ce que l'on veut traiter, on utilise différentes bactéries soit pour :

- traiter le carbone (transformer le carbone en CO_2),
- transformer l'azote en nitrates puis les nitrates en azote gaz,
- stocker le phosphore.

Les boues constituées de matières cellulaires actives sont agglomérées dans un floc. Celles-ci sont séparées de l'eau épurée dans un second bassin, le clarificateur, pour conserver un stock constant et suffisant de bactéries dans le bassin de boues activées, une grande partie des boues extraites du clarificateur est ensuite renvoyée dans le bassin d'aération (**voir figure 8**). Le

maintien de l'équilibre est nécessaire entre la pollution à traiter et la quantité de biomasse nécessaire pour l'extraction régulière des boues en excès.

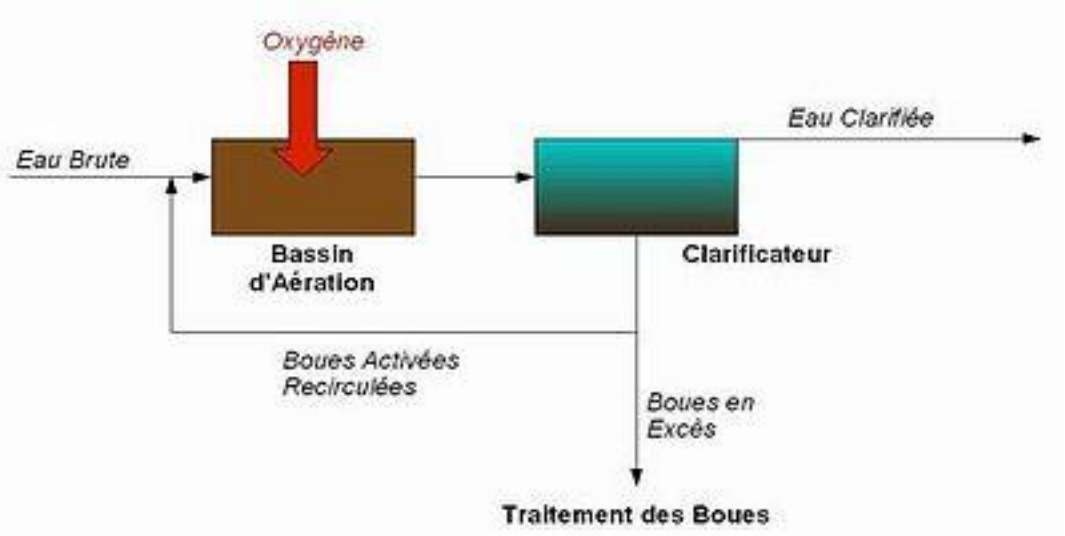


Figure 8: procédés du traitement des boues

Le procédé à boues activées a quatre objectifs :

- Éliminer la pollution carbonée (matières organiques) ;
- Éliminer une partie de la pollution azotée ;
- Fixer le phosphore dans la matière décantée ;
- Stabiliser les boues (procédé dit d'« aération prolongée » ou « digestion aérobie »)

b) Composition de la boue activée (micro-organismes) :

- Des bactéries à raison de 6,6 milliards/ml de boue activée. Elles représentent la biomasse la plus abondante par le nombre. On y trouve des germes de l'environnement et pour l'essentiel des bacilles Gram-, aérobies et mobiles. Les principaux genres sont Pseudomonas, Aeromonas, Arthrobacter, Flavobacter, Achromobacter et Alcaligenes.
- Des protozoaires à raison de 50 000/ml de boue activée. Ils se partagent en différentes classes comme les zooflagellés (Bodo…), les holotriches (Litonotus…), les hypotriches (Aspidisca…) et les péritriches (vorticelles…).
- Les métazoaires comme les rotifères et les nématodes.

Le fonctionnement d'une boue activée est organisée comme une chaîne alimentaire, les bactéries étant à la place des producteurs et se multipliant de manière proportionnelle à la charge organique. Les autres organismes établissent des relations de prédation ou de compétition (**voir figure** 9).

Les bactéries minéralisent la matière organique alors que les autres organismes favorisent leur élimination, participant ainsi au maintien d'une biomasse bactérienne constante et à la clarification du liquide interstitiel.

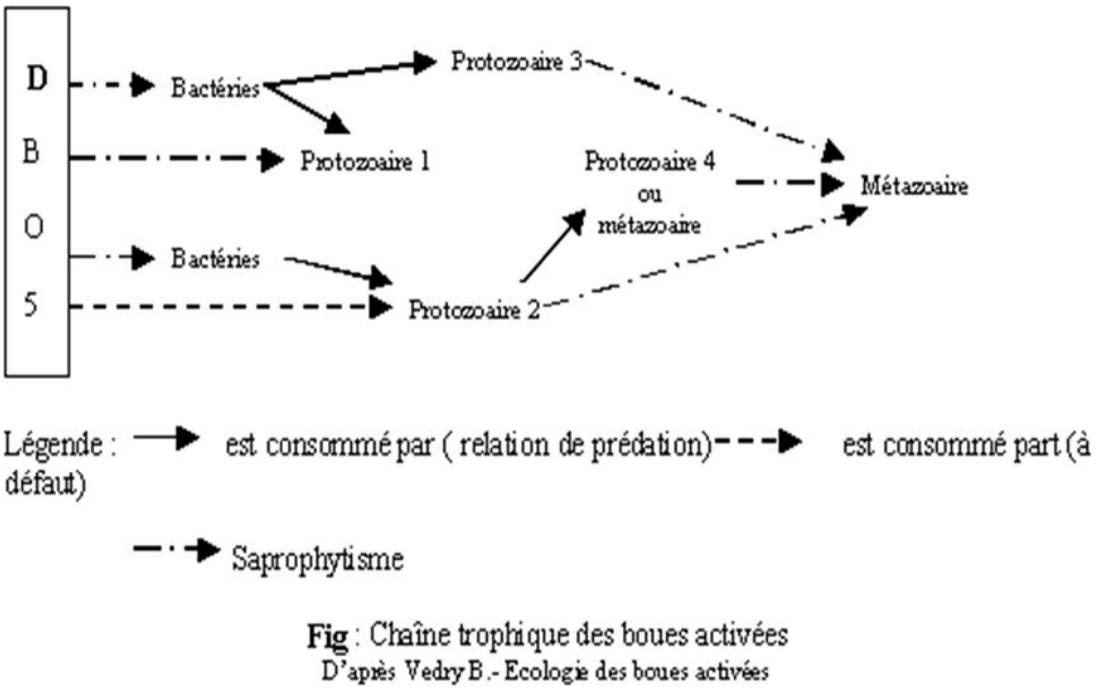


Fig : Chaîne trophique des boues activées
D'après Vedry B.- Ecologie des boues activées

Figure 9 : chaine trophique des boues activées (Lazarova, 1999).

La production primaire est constituée principalement de bactéries et de zooflagellés leurs croissance proportionnelle à la DBO5 disponible. Le schéma des réactions de prédation est :

- protozoaire 1 se nourrissent de bactéries et de matière organique. Leur croissance n'est pas proportionnelle à la pollution. Ils participent à la régulation du nombre de bactéries ;
- protozoaire 2 se nourrissent préférentiellement de bactéries, si la nourriture vient à manquer peuvent pratiquer le saprophytisme ;
- protozoaires 3 : compétiteur de protozoaire 2 car ayant les mêmes nourritures et les mêmes préférences. L'un peut se développer aux dépens de l'autre ;
- protozoaire 4 ou métazoaire : prédateurs du protozoaire 2, tendent à le faire disparaître au profit de protozoaire 3 ;
- métazoaire : se nourrit de débris de protozoaires et dépolymérise la matière organique particulaire au profit des bactéries. Un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice ;

c) dispositifs :

Les stations par boues activées comportent essentiellement de :

- Clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et la concentration de la culture bactérienne ;
- Dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupé-rées dans le clarificateur ;

- Dispositif d’extraction et d’évacuation des boues en excès, c’est-à-dire du surplus de culture bacté-rienne synthétisée à partir du substrat ;
- Dispositif de fourniture d’oxygène ;
- Dispositif de brassage de ce même bassin, afin d’assurer au mieux le contact entre les cellules bac-tériennes et leur nourriture, de favoriser la diffusion de l’oxygène partout où il en est besoin et d’éviter les dépôts. Très fréquemment, le même dispositif est utilisé pour l’aération et le brassage.

d) Performance :

Le procédé à boues activées est actuellement le procédé le plus valable d'épuration biologique des eaux résiduaires. Ses grands avantages sont :

- Sécurisé en ce qui concerne le degré d'épuration des eaux traitées, du fait que les facteurs d'influence les plus importants, par exemple apport d'eau résiduaire, et de masse bactérienne (boue activée), sont contrôlables.
- Procédé éprouvé permettant d’obtenir les performances de traitement les plus élevées,
- Plus grande efficacité et plus rapide par rapport au les lits bactériens, du fait que ce procédé est beaucoup moins dépendant de la température.
- Une phase de démarrage plus courte (moins de deux semaines) par rapport aux lits bactériens (4 à 6 semaines).
- Absence totale d'odeurs et de mouches.
- Procédé adapté aux charges organiques importantes.
- Procédé adapté au traitement poussé du phosphore.
- Permet de traiter les eaux résiduaires de 100 000 à 200 000 équivalents habitant.

e) Inconvénients de la boue activée :

- L'épuration biologique à boue activée est un dispositif qui nécessite un entretien rigoureux sous peine de dysfonctionnement, voire de panne.
- L'implantation d'un site dans un espace vert peut provoquer quelques nuisances, au niveau du bruit et des matériaux utilisés.
- Coût d’exploitation élevé en particulier pour les petites installations, annuellement de 4 à 8 % du coût d’investissement.
- Formation du personnel pour l’exploitation.
- la production de boues reste conséquente nécessitant un traitement adapté suivant la capacité des ouvrages. Exploitation rigoureuse (suivi électromécanique).

3-3-2 Traitements anaérobies :

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO2.

Ce type de fermentation est appelé digestion en hydrologie. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances

inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

3-3-3 Traitements aérobies :

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue cinq méthodes essentielles :

3-3-3-1 Les cultures fixes : les lits bactériens ou disque biologique :

Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques à cultures fixées, non immergées, utilisant un matériau de contact traditionnel (pouzzolane, cailloux ou plastique) sur lequel l'eau à traiter est distribuée en continu. Le ruissellement des eaux sur les supports permet le développement d'un film biologique sous lequel une couche anaérobie peut se développer sous la couche aérobie, si son épaisseur est importante.

Parallèlement, il existe d'autres lits bactériens appelés disques biologiques tournants. Cette technique, très ancienne basée sur des disques très légers en matière plastique, de 10mm d'épaisseur et de 2 à 3 m de diamètre, sont espacés de 1 à 2 cm et montés sur un arbre horizontal, lequel est entraîné par un moteur.

a) Avantages :

- Bon rendement sur l'élimination de la pollution carbonée.
- Coûts de fonctionnement modérés.
- Exploitation peu contraignante.
- Minéralisation des boues.
- Emprise foncière limitée.

b) Inconvénients :

- Rendement faible sur l'azote global (et limité sur l'azote organique) compte tenu des bases de dimensionnement retenues et des conditions de fonctionnement préconisées par les constructeurs.
- Faible rendement sur la bactériologie.
- Nécessité d'une décantation primaire efficace.
- Inadapté au traitement d'effluents concentrés.
- Coûts d'investissement élevés.
- Nuisances olfactives potentielles notamment sur le décanteur digesteur mais mesures correctives possibles
- Filière sujette au problème d'intégration environnementale des matériaux.

3-3-3-2 Les cultures libres (boues activées) :

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répondu (WHO, 1989). Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le

mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte) ; l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène par (le brassage, l'injection d'air comprimé, voire même d'oxygène pur), a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies.

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau épurée des boues. Une partie de ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boues secondaires en excès) est extrait du système et évacué vers le traitement des boues. Une boue activée de bonne qualité a une couleur blonde légèrement rougeâtre. Le temps de séjour des organismes actifs dans le système est plus élevé que celui de l'eau, ce qui facilite le contrôle de la minéralisation de la matière organique.

Selon (Faby, 1997), une épuration biologique (boues activées, puis bassin de clarification) permet d'éliminer 90 % des virus, 60 à 90 % des bactéries, mais par contre a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes. Selon (Asano, 1998), un traitement par boues activées élimine 90 % des bactéries entériques, 80 à 99 % des entérovirus et des rotavirus. L'élimination a lieu grâce à la sédimentation des MES, la compétition avec les micro-organismes non pathogènes et la température ; la part la plus importante est due à la sédimentation.

3-3-3-3 lagunages :

C'est un processus d'autoépuration, les bactéries présentent dans le système consomment la pollution dissoute dans l'eau pour respirer. L'oxygène est produit grâce aux mécanismes photosynthétiques des algues qui poussent et se développent grâce aux engrais qu'apportent les eaux d'égout.

Ces eaux traversent trois bassins successifs d'environ un mètre de profondeur :

1. Lors de l'arrivée dans le premier bassin où les bactéries prolifèrent, la partie organique des eaux usées va être dégradée pour produire des éléments nutritifs. Ces bactéries consomment de l'oxygène et produisent du CO2. Les particules lourdes décantent dans ce premier bassin et s'accumulent sous forme de boues au fond du bassin (à évacuer après 10ans, peut être épandu dans les terrains agricoles).
2. Lors de l'arrivée dans le second bassin, les eaux usées sont en présence de sels nutritifs, de soleil et de CO2. Le phytoplancton se développe et produit ici de l'oxygène. Les bactéries pathogènes sont éliminées.
3. -Le zooplancton se développe dans le troisième bassin. Il se nourrit avec le phytoplancton produit dans le second bassin et de bactéries. Il consomme de l'oxygène. La clarification de l'eau peut être assurée par le développement de petits crustacés.

a) Avantages du lagunage :

L'intérêt du lagunage est son faible coût économique et énergétique, rustique, fiable et peu onéreux du fait de son fonctionnement non mécanisé, avec les résultats hautement satisfaisants en matière décontaminées c'est en fait une forme naturelle et souple du traitement biologique des eaux usées.

b) Inconvénients du lagunage :

- s'adapte très mal aux variations saisonnières importantes (cas des sites touristiques)
- ce système ne produit pas une eau purifiée de 100 % de ses polluants (Performances épuratrices faibles)
- Sensible aux effluents concentrés
- Besoin en surface important
- Entretien des berges des bassins
- Possibilité d'altération du traitement au cours du temps
- Pas de maîtrise humaine du processus

3-3-3-4 Filtration/percolation :

La filtration ou percolation consiste à traiter l'eau par l'intermédiaire du sol ou d'un massif filtrant (Vasel, 2007). On filtre les effluents à raison de quelques centaines de litres d'effluent par mètre carré de massif filtrant et par jour. Deux mécanismes entrent en jeu :

1) la filtration des MES : plus le sable est grossier, plus la fixation des MES se fera en profondeur. Les MES finissent par colmater le filtre. Pour lutter contre le bouchage du massif filtrant, il faut donc alterner phase de filtration et phase de séchage, l'élimination des MES permet également l'élimination des micro-organismes qui y sont fixés ;

2) l'adsorption des bactéries libres par les grains de sable du filtre : il se forme alors un film biologique contaminé, surtout dans la partie supérieure, ce film va permettre une dégradation microbienne de la matière organique et des substances dissoutes dans l'effluent (phosphates, nitrates, etc.). Cette dégradation consomme de l'O2 et produit du CO2, il faut donc aérer régulièrement le film pour éviter l'asphyxie du milieu.

Les techniques de filtration/percolation permettent l'élimination des « gros » micro-organismes (protozoaires et helminthes) par filtration/adsorption au début du massif filtrant. L'élimination des virus et des bactéries est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée (Faby, 1997).

3-4 Traitement tertiaire :

L'objectif des traitements tertiaires est d'éliminer les éléments indésirables tels que les MES, la DCO (dure et colloïdale), le phosphore, l'azote, et les composés spécifiques (pesticides, métaux, détergents…). Ils visent à améliorer la qualité de l'eau épurée en vue de leur rejet dans le milieu naturel ou de leur réutilisation. Les traitements tertiaires viennent en complément des traitements primaires et secondaires.

Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes :

- la nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique) ;
- la désinfection bactériologique et virologique.

3-4-1 Elimination biologique de l'azote et du phosphore :

3-4-1-1 Elimination de l'azote :

L'élimination de l'azote se réalise en deux étapes :

La première, appelée « nitrification » et réalisée en phase aérobie dans les bassins d'aération, consistant à transformer l'ammoniaque en nitrates.la seconde, appelée « dénitrification » et réalisée dans des conditions d'anoxie (c'est à dire en absence d'oxygène), consiste à transformer les nitrates en azote gazeux. L'azote subit différentes transformations au cours d'un traitement biologique : passage de la forme nitreuse puis nitrique et de retour à la forme gazeuse.

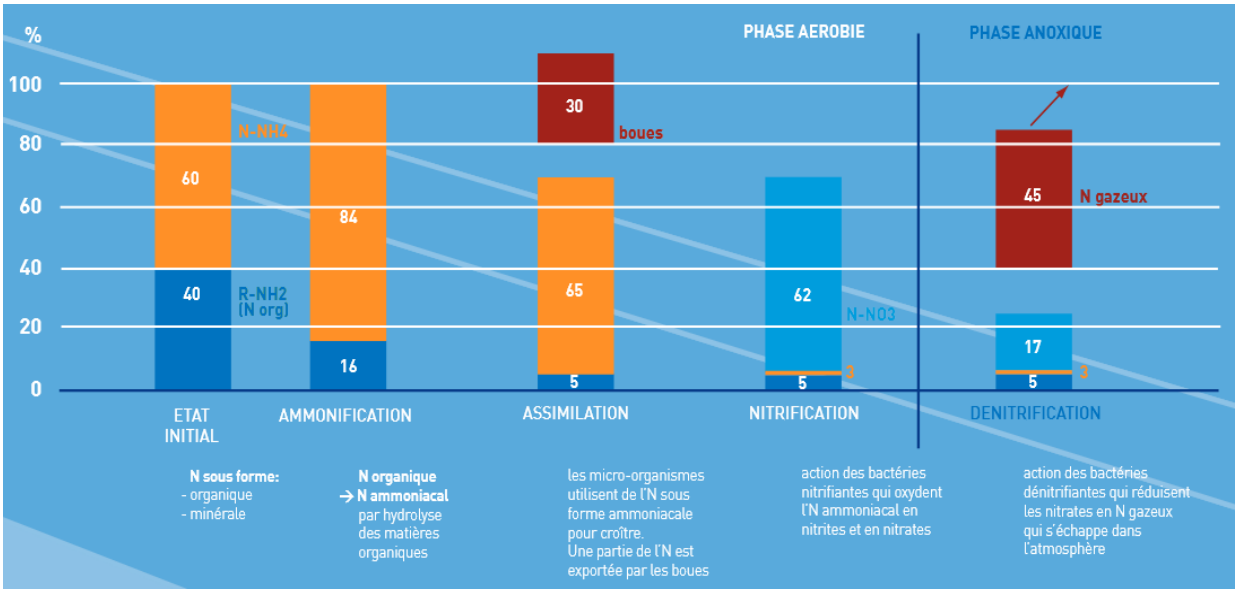


Figure 10: la quantité de l'azote en fonction de son passage par les différentes phases

3-4-1-2 L'élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.

L'élimination du phosphore par voie biologique se réalise par incorporation de celui-ci dans la boue. Pour ce faire, il convient préalablement de développer des cultures bactériennes accumulatrices de phosphore et naturellement présent dans l'eau usée.

Le développement de ces micro-organismes s'accomplit dans des bassins fonctionnant en anaérobiose et situés en tête des ouvrages du traitement secondaire.

Les mécanismes de la déphosphatation biologique sont relativement complexes, et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées). Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à une déphosphatation physico-chimique, en vue de respecter la norme de rejet. Les phosphates sont transformés en composés insolubles décantables, à l'aide de réactifs chimiques.

3-4-2 Elimination et traitement des odeurs :

La dépollution des eaux usées produit des odeurs, qui sont parfois perçues comme une gêne par les riverains des stations d'épuration. Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leur traitement, ainsi que les installations de prétraitement.

Le seuil de tolérance de ces nuisances olfactives est subjectif et aucune norme en matière d'émissions malodorantes n'existe. Cependant, les exploitants de stations d'épuration cherchent à limiter les odeurs dégagées par les traitements.

La conception des stations est le premier élément permettant de limiter l'émission d'odeurs dans le voisinage. Il faut, par exemple, veiller à réduire les surfaces d'échange entre l'air et les eaux usées.

Ainsi, les ouvrages les plus odorants sont souvent regroupés pour concentrer l'émission d'effluves nauséabonds. Leur couverture est aussi une manière d'atténuer les émissions malodorantes.

Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mises en place, au sein des stations d'épuration. La désodorisation chimique est la technique la plus utilisée. Les gaz malodorants sont captés puis envoyés dans des tours de lavage, où un liquide désodorisant est pulvérisé. Ces lavages peuvent comporter de la soude, de l'acide et/ou de l'hypochlorite de sodium (eau de javel), réactifs qui captent ou neutralisent les mauvaises odeurs.

3-4-3 Les principaux moyens de désinfestation reconnus :

Le choix d'un moyen de désinfection se fait normalement en considérant les contraintes techniques, économiques et environnementales qu'il présente. En ce sens, le mode de désinfection idéal est celui qui regroupe les caractéristiques suivantes :

- efficacité pour la plupart des micro-organismes pathogènes sous différentes conditions ;
- absence de sous-produits indésirables formés à la suite de son utilisation;
- produit non dangereux pour les humains et pour la vie aquatique;
- facilité d'utilisation;
- faibles coûts d'investissement et d'exploitation.

Il existe plusieurs moyens pour désinfecter les eaux usées, mais, en pratique, les seuls couramment utilisés aujourd'hui sont la chloration, chloration-déchloration, l'ozonation et le rayonnement ultraviolet.

3-4-3-1 chloration :

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées. Il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries, mais moins efficace contre les virus. Aux fins de désinfection, le chlore est utilisé sous les formes suivantes : chlore gazeux, hypochlorite de sodium (eau de javel) et bioxyde de chlore.

Au plan économique, il s'agit d'une technologie dont les coûts sont bien connus et les plus faibles parmi toutes les techniques éprouvées.

Au plan environnemental, la désinfection des eaux usées au chlore peut avoir un impact significatif sur la vie aquatique à cause de la toxicité, aiguë et chronique, du chlore résiduel. De plus, le chlore réagit avec certaines matières organiques contenues dans les eaux usées, même traitées, pour former des sous-produits organochlorés, dont certains sont potentiellement cancérigènes.

3-4-3-2 La chloration-déchloration :

Depuis quelques années, pour contrer les effets nocifs du chlore sur la vie aquatique, la déchloration s'est de plus en plus répandue partout dans le monde. La déchloration se fait généralement par addition de bioxyde de soufre (SO_2). Il réagit très rapidement au contact du chlore résiduel dans l'eau et permet d'éliminer la toxicité qui y est associée. Par contre, la concentration en oxygène dissous de l'eau traitée s'en trouve réduite. Tout comme pour la chloration, il s'agit d'une technique bien maîtrisée et relativement simple. Elle entraîne toutefois une augmentation des coûts et une augmentation des risques pour le personnel de la station d'épuration et pour la sécurité publique lors du transport.

Au plan environnemental, ce moyen de désinfection est moins dommageable que la simple chloration. Il ne permet toutefois pas d'empêcher la formation de sous-produits organochlorés et les problèmes associés.

3-4-3-3 L’ozonation :

L'ozone est un gaz instable que l'on doit générer sur place, dans les stations d'épuration, au moyen d'une décharge électrique produite dans de l'air ou de l'oxygène. L'opération consiste à transformer l'oxygène sous forme «O_2» en oxygène sous forme «O_3».Parmi les avantages de l'ozone, citons son action très rapide et efficace sur les bactéries et les virus, ainsi que sa faible propension à générer des produits secondaires indésirables. L’ozonation ne nécessite aucun transport de produits chimiques et elle est plus sécuritaire pour le personnel de la station d'épuration que la chloration.

Les désavantages de l'ozonation des eaux usées sont essentiellement d'ordre économique, puisqu’elle entraîne des coûts élevés d'investissement et d'exploitation.

Au plan environnemental, l'ozonation des eaux usées constitue une solution avantageuse car la matière organique est oxydée à l'oxygène plutôt qu'au chlore, ce qui prévient ainsi la

formation de produits organochlorés. Aussi, même si l'ozone résiduel est très toxique pour la vie aquatique, il est rarement trouvé en quantité significative après la désinfection des eaux usées car l'ozone résiduel réagit très rapidement avec les différentes substances contenues dans les eaux. De toute façon, parce qu'il est instable, l'ozone résiduel est rapidement détruit.

L'ozonation est donc un moyen de désinfection des eaux usées intéressant, mais ses coûts la rendent généralement peu attrayante.

3-4-3-4 Le rayonnement ultraviolet :

Le rayonnement ultraviolet pour la désinfection des eaux usées constitue une technique de plus en plus répandue. Il consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes.

Les principaux avantages de cette technologie sont l'absence de formation de produits secondaires indésirables, la sécurité d'exploitation comparativement aux méthodes chimiques, ainsi que sa simplicité à mettre en œuvre car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s). L'efficacité du traitement dépend essentiellement de deux paramètres :

1) les lampes, doivent être remplacées régulièrement : elles sont usées au bout d'un an et demi. De plus, elles doivent être nettoyées car elles ont tendance à s'encrasser ;

2) la qualité de l'effluent, dont les MES et certaines molécules dissoutes absorbent les UV, ce qui diminue l'efficacité des lampes.

Au plan économique, les coûts se situent dans une gamme comparable aux systèmes de chloration-déchloration. Le rayonnement ultraviolet n'a pas d'impact notable sur l'environnement car il ne nécessite aucun ajout de produit chimique et ne forme pas de sous-produits.

Le rayonnement ultraviolet est donc un moyen de désinfection très intéressant. Si on le compare à la chloration-déchloration par exemple, on se rend compte, qu'à coûts comparables, le rayonnement ultraviolet est plus efficace pour inactiver les virus, plus sécuritaire pour le personnel de la station d'épuration, de même que pour le public (aucun transport de produits chimiques) et moins dommageable pour l'environnement, mais toutefois, l'efficacité de cette technologie diminue lorsque la concentration en matières en suspension augmente.

CHAPITRE 3: Problématique de la pollution azotée phosphatée

Introduction :

Les nutriments sont des substances nutritives essentielles à la croissance des végétaux et l'intensification des rendements agricoles, notamment pour les algues présentes dans les eaux de surface. Parmi ces substances on note le carbone, l'azote, le phosphore et la silice pour certaines espèces, le manque de disponibilité ou la réduction de l'apport de l'un de ces nutriments entraîne donc une diminution de la biomasse algale du plan d'eau. En général, le carbone ne limite pas la croissance des algues sauf dans les étangs très riches ou dans les lagunes d'eaux usées, où l'eau est saturée en azote et en phosphore. Dans les eaux de surface, l'azote et le phosphore sont habituellement les principaux facteurs limitant la croissance des algues (Bergeron, et al. , 2002). Donc la présence en excès de ces deux éléments provoquent des déséquilibres biologiques qui peuvent se traduire par une prolifération anarchique d'algues. On parle alors d'eutrophisation dont les conséquences sont multiples : Le développement excessif d'algues augmente la turbidité des eaux de surface, modifie leur couleur et peut être source d'odeurs nauséabondes. Il s'opère également un appauvrissement du nombre d'espèces de poissons.

L'eutrophisation nuit alors à la qualité des eaux de surface ce qui limite leurs usages : production d'eau potable, loisirs (pêche, baignade, sport nautique, lâcher d'eau), activités industrielles (transport, production d'énergie électrique). Ce qui représente alors une menace pour la faune ainsi que pour la flore.

D'une manière générale, les perturbations engendrées par de tels gestes peuvent être de nature diverses :

- physico-chimiques : modification des paramètres physico-chimiques du cours d'eau initial (pH, température, teneur en oxygène dissous, augmentation de la turbidité et des matières en suspension, enclenchement du processus d'eutrophisation, etc.) ;
- biologiques : stress de la biocénose pouvant conduire à sa disparition et l'eutrophisation du cours d'eau.

Ces dernières années, la tendance croissante de la pollution azotée et phosphatée ainsi que ses conséquences sur les écosystèmes naturels, a conduit les pouvoirs publics, à définir et/ou à renforcer les exigences réglementaires en matière d'abattement ou d'élimination de ces polluants provenant des eaux usées. Celles-ci reposent sur la multiplication d'installations de traitement des eaux résiduaires d'une part, et d'autre part le développement et la généralisation des procédés de traitements tertiaires adéquats pour obtenir des effluents propres et conformes aux normes de rejet.

L'azote et le phosphore présent dans les milieux aquatiques provient de deux sources dont on distingue :

- **Sources naturelles** :

- Le phosphore provient à la base de l'altération de la roche ignée. Il ne se trouve pas à l'état libre dans la nature. Sous l'effet des conditions géologiques et atmosphériques, s'érode lentement puis libère le phosphore dans l'environnement.
- Eaux de ruissellement - la pluie n'est pas la source de la pollution, mais l'eau, une fois qu'elle atteint le sol, devient chargée de substances et les entraîne avec elle par ruissellement vers les cours d'eau et les lacs. Les nutriments que sont l'azote et le phosphore sont intimement liés aux matières en suspension, ils peuvent être adsorbés sur les particules de sol et ainsi être transportés lorsque le sol s'érode et est transporté par ruissellement.
- Les déjections animales ainsi que la décomposition de la matière organique après la mort des organismes est une autre source de phosphore et d'azote. Suite à ce processus, ces éléments peuvent se retrouver soit dans les milieux lacustres, soit dans l'atmosphère, soit dans le sol.
- La libération du phosphore emmagasiné dans les sédiments- Le phosphore a la propriété de se lier aux sédiments des lacs, mais peut être remis en suspension lors des événements de grands vents dans les lacs peu profonds. De plus, le phosphore peut être libéré lorsqu'il y a un manque d'oxygène dans les lacs.
- Air - Certaines algues et cyanobactéries peuvent extraire l'azote gazeux de l'air et le transformer dans des formes qu'elles pourront utiliser.

- **Sources anthropiques :**

Parmi les principales sources anthropiques de phosphore et d'azote, mentionnons :

- l'utilisation d'engrais et de fertilisant.
- l'aménagement de grands centres urbains et l'artificialisation des surfaces.
- l'intensification du défrichage et du déboisement.
- les rejets provenant des stations de traitement des eaux usées ou les rejets industriels.
- le dysfonctionnement et le mauvais entretien des installations septiques.
- l'utilisation de détergents à lave-vaisselle riches en phosphates.

1 Le Phosphore :

1-1 Les différentes formes de phosphore :

Le phosphore est le onzième élément par ordre d'abondance constitutif de la croûte terrestre (0,12%). A l'état naturel il se trouve principalement dans les roches sédimentaires sous forme de phosphates de calcium (apatite).Dans les sols, le phosphore se trouve à 98% sous forme ortho-phosphates (PO_4^{3-}) c'est la forme la plus abondante dans l'eau et provient en majeure partie des déjections animales et des produits de lessive. Il joue un rôle important dans la respiration des cellules vivantes, dans le stockage et le transfert de l'énergie.

Pouvant être ou non combinés à de la matière organique (composés phytiniques, phospholipides, acides nucléiques,...) et minérale (principalement Al, Fe et Ca).

Dans la solution du sol, l'élément P se trouve essentiellement sous forme d'ion orthophosphate ($H2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) qui dépend du pH de la solution.

Le phosphore intervient au niveau du métabolisme des êtres vivants puisqu'il est constitutif des acides nucléiques et donc de l'ADN (support d'hérédité), de l'ARN (synthèse de nouvelles cellules) et de l'ATP (processus énergétique).

Le cycle simplifié du phosphore dans l'environnement est représenté sur la figure . Cet élément se trouve dans les eaux et dans le sol sous forme organique dissoute, organique particulaire, minérale dissoute et minérale particulaire.

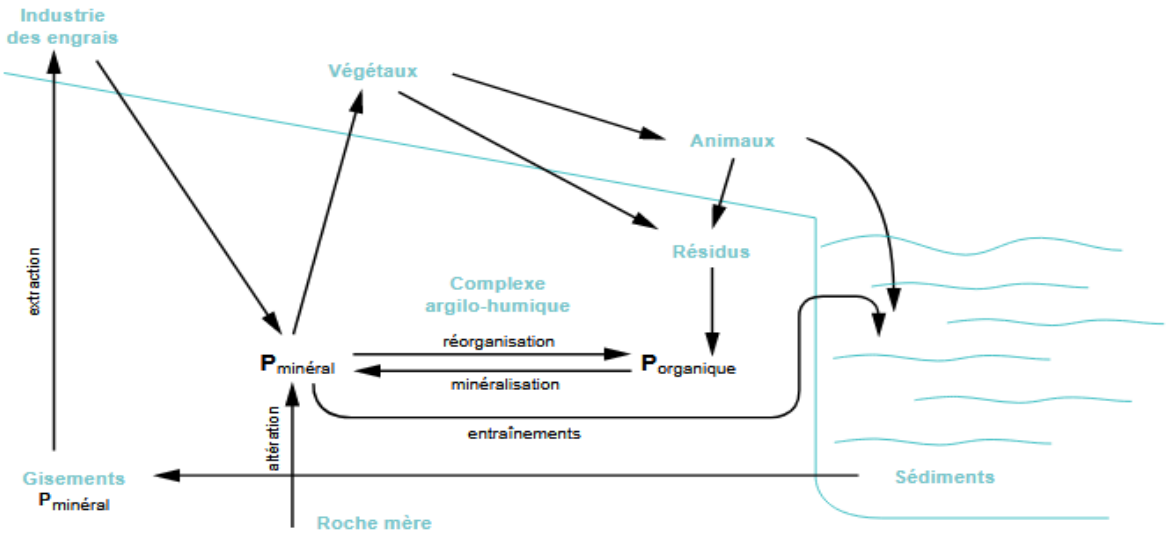


Figure 11: cycle simplifier du phosphore

1-2 Exigences aux stations d'épurations en matière de rejets

Pour le phosphore, les niveaux de rejets et les exigences concernent des moyennes annuelles doivent être respectées (**voir tableau1**).

Tableau 1 : Concentrations limites en phosphore dans les rejets des stations d'épuration urbaines situées en zone sensible selon la pollution organique reçue

Charge brute reçue par la station d'épuration (kg de DBO5 par jour)	Concentration maximale en moyenne annuelle	Rendement minimum en moyenne annuelle
600 à 6 000	2 mg de P/l	80 %
> 6 000	1 mg de P/l	80

1-3 Elimination du phosphore :

Les moyens d'éliminer le phosphore des eaux résiduaires urbaines sont répertoriés et commentés .Contrairement à l'azote, le phosphore ne peut être transformé en un produit gazeux. Le traitement du phosphore contenu dans les eaux consiste en une concentration de cet élément dans une phase solide, cette opération peut s'effectuer par voie biologique ou physico-chimique.

1-3-1 Déphosphatation biologique :

PRINCIPE

Le principe de la déphosphatation biologique repose sur la capacité de quelques microorganismes à stocker du phosphore dans leur cellule. Les boues biologiques dont les teneurs en phosphore ne dépassent généralement pas 3% pour une filière classique de traitement des eaux, peuvent en contenir jusqu'à10% dans un système assurant une déphosphatation. Le processus nécessite l'alternance de deux phases bien distinctes d'anaérobiose et d'aérobiose.

1-3-1-1 En milieu anaérobie :

La fraction facilement fermentescible de la Matière Organique (MO) est transformée en Acides Gras Volatils (AGV). Les bactéries déphosphatantes, qui sont aérobies facultatives et hétérotrophes, ont la capacité d'absorber et de stocker ces Acides Gras Volatils dans leurs cellules sous forme de PolyHydroxyAlcanoates (PHA). L'énergie nécessaire à cette absorption est fournie par hydrolyse des Poly-phosphates (PolyP) contenues dans les cellules des bactéries, en phosphates (PO_4^{3-}).

1-3-1-2 En milieu aérobie :

Elles utilisent leurs stocks de (PHA) comme substrat carboné. Ceci leur évite de rentrer en compétition avec le reste de la biomasse hétérotrophe pour l'obtention du substrat carboné nécessaire à leur métabolisme (apport énergétique et synthèse cellulaire).
Simultanément, elles absorbent les phosphates contenus dans le milieu pour reconstituer leurs réserves en poly-phosphates.
La succession de périodes aérobies et anaérobies a pour conséquence la sélection de cette biomasse stockant le phosphore intracellulairement sous forme de polyphosphates. Le résultat

net est un transfert du phosphore minéral contenu dans le liquide à traiter vers la matière cellulaire.
Au cours de la phase anaérobie, on peut observer un relargage du phosphore (paramètre opératoire qui agit sur les processus de la phase anaérobie) on peut le subdivisé on trois phase **(voir figure 12).**

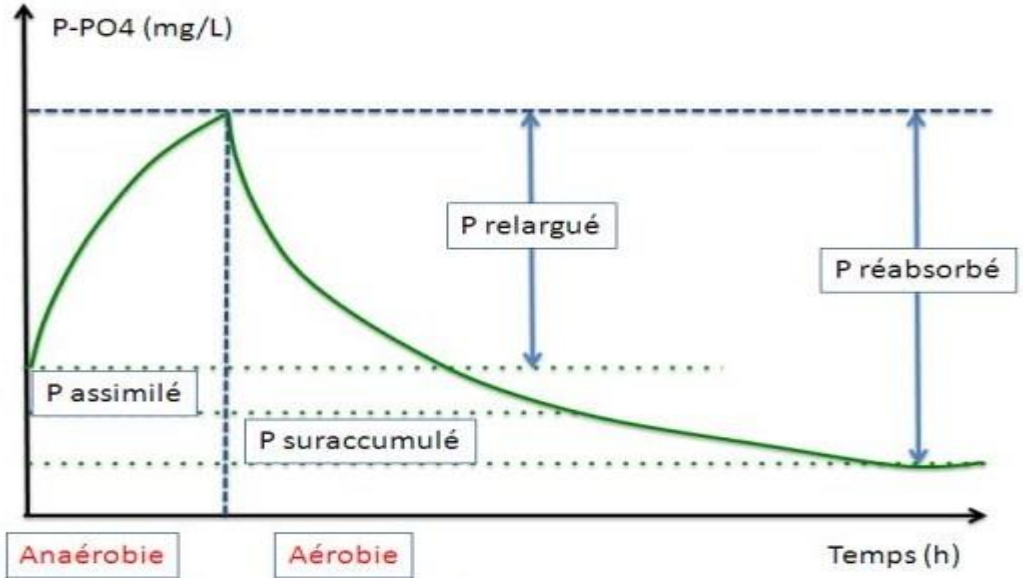


Figure 12 : Courbe de relargage et de réabsorption du phosphore

Phase 1 : un relargage rapide du phosphore est observé. La vitesse de ce processus est indépendante de la concentration en carbone facilement assimilable essentiellement les acides gras volatils

Phase 2 : un ralentissement du relargage s'opère en raison de l'utilisation de substrats carbonés nécessitant une hydrolyse préalable

Phase 3 : un relargage lent, dû à la maintenance de la cellule. Il s'agit du relargage secondaire ou endogène. Cette troisième forme de relargage n'est pas efficace en ce sens qu'elle n'entraîne pas dans le bassin d'aération une réabsorption intensifiée du phosphore

1-3-2 Déphosphatation physico-chimique :

Leurs principes consistent à précipiter les phosphates contenus dans les eaux par ajoutent de réactifs (électrolytes minéraux) puis à séparer la phase solide de la phase liquide. Les réactifs utilisés sont généralement des sels d'aluminium, de fer ou de calcium. Les sels de métaux (Al, Fe) sont plutôt utilisés pour traiter les effluents acides tandis que la chaux est utilisée pour les effluents basiques.

1-3-2-1Les sels métaux :

La précipitation du phosphore par les sels d'aluminium est généralement effectuée par l'ajout de sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)^3\ _{18}H_2O$ ou d'aluminate de soude $Na_2OAl_2O_3$. Le solide formé est composé d'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3$ et de phosphate d'alumine $AlPO_4$.

Compte tenu des équilibres acido-basiques des différentes espèces en solution, la précipitation est optimale pour des pH compris entre 6 et 6,5.

Les mécanismes de la précipitation du phosphore par les sels de fer sont complexes car ils dépendent des teneurs en fer ferrique et ferreux qui elles-mêmes dépendent du pH et du potentiel redox du milieu. Pour une précipitation par le fer ferrique, le pH optimal de la précipitation des phosphates est <7 alors que pour le fer ferreux il est >7.

Exemple : L'élimination du phosphore basé sur la capacité qu'à le chlorure ferrique Fe Cl3 de se combiner avec les ions phosphates pour former un précipité de phosphate de fer Fe PO4, sel très peu soluble dans l'eau et qui précipite à l'état colloïdal dont on connaît la difficulté à décanter. Ce précipité est absorbé par un excès d'hydroxyde métallique Fe (OH)3 .Cela impose des concentrations relativement importantes à mettre en œuvre. Ainsi pour éliminer 1g de phosphore il faut 5,2 à 15,7 g de chlorure ferrique pur.

REMARQUE : Les sels de métaux utilisés pour l'élimination du phosphore des eaux résiduaires doivent être ajoutés en excès par rapport au phosphore pour en assurer une précipitation complète car ces réactifs réagissent aussi avec d'autres composés chimiques.

1-3-2-2 La chaux :

Les mécanismes de la précipitation par la chaux sont encore plus complexes. La dose de chaux à fournir ne dépend pas de la teneur en phosphates de l'effluent à traiter mais de la dureté, de l'alcalinité et bien sûr de la teneur souhaitée en phosphore dans l'effluent traité. L'un des intérêts de l'utilisation de la chaux est de poursuivre le traitement par une cristallisation du phosphore.

Généralement Les principaux mécanismes intervenant sont au nombre de trois :

1. Précipitation chimique de complexes hydroxo-métalliques ;
2. Adsorption sélective d'espèces phosphorées dissoutes sur la surface de complexes déjà précipités ;
3. Floculation et coprécipitation de matière colloïdale finement dispersée.

Ces trois mécanismes ont normalement lieu simultanément, et leur action combinée est responsable des hautes performances de déphosphatation généralement atteintes dans les stations de traitement chimiques. La séparation du phosphore particulaire de l'eau aura lieu lors de la décantation.

Conclusion :

Afin de réduire les rejets phosphorés d'origine domestique dans les eaux naturelles, des procédés de déphosphatation ont été développés depuis les années 1980. On distingue les procédés physico-chimiques et les procédés biologiques. Les premiers sont de gestion simple mais ils sont coûteux en réactifs chimiques et présentent le désavantage de produire des volumes importants de boues. La conduite des procédés biologiques est délicate. De plus, ils nécessitent des investissements importants. Mais une fois en œuvre, ils permettent

une bonne élimination du phosphore, pouvant être couplée à une élimination de l'azote, à des coûts de fonctionnement peu élevé.

2- l'azote :

2-1 les différentes formes et les principaux sources :

L'atmosphère est la principale source d'azote, sous forme de diazote, puisqu'elle en contient 78 % en volume. L'azote peut se présenter sous deux formes :

1) Une forme organique peu soluble (protéines, acides aminés, urée...)

2) Une forme minérale soluble

C'est cette forme qui nous intéresse ici, car c'est la forme la plus répandus dans les eaux usées. L'azote minéral se présente en solution dans l'eau sous 3 formes principales :

1– L'azote ammoniacal (ammoniac NH_3et ammonium NH_4^+), 2 – Les nitrite (NO_2^-),

3 – Les nitrates (NO_3^-).

Il est important de rappeler que l'azote sous sa forme NH_3 dite non dissociée ou ammoniac libre représente la forme la plus toxique**. (voir cycle de lazote)**

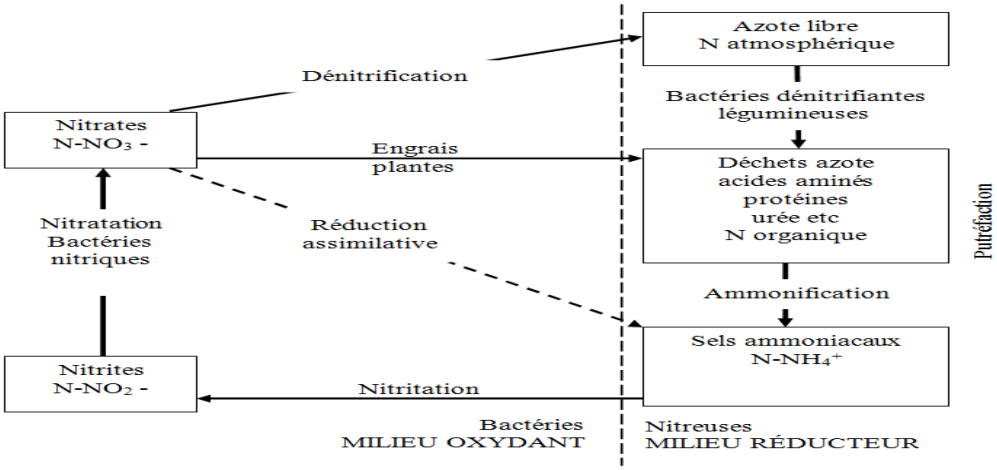


Figure 13 : cycle de l'azote

Depuis 1950, la production de nitrates a presque doublé. L'activité humaine a perturbé le cycle de l'azote, responsable de la production de nitrates. On attribue cette pollution aux pratiques agricoles à la hauteur de 66%, les autres sources de pollution étant imputées aux eaux usées urbaines et aux rejets industriels.

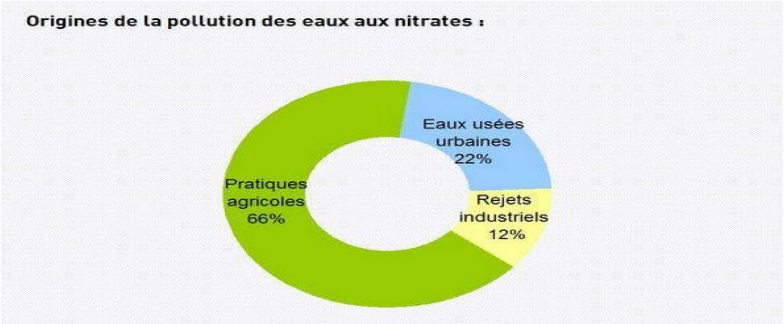


Figure 14 : origines de la pollution des eaux aux nitrates

Malgré son appartenance à un cycle naturel très complexe. Il figure parmi les composés d'intérêt prioritaire des lois de protection de l'environnement de la plupart des pays car son excès induits à la modification et à la dégradation des milieux aquatiques (l'eutrophisation) , les nappes phréatiques (rendent leur eaux impropre à la consommation après son infiltration dans le sols),ainsi que l'atmosphère (par de la production d'une faible quantité d'oxyde d'azote, un gaz à effet de serre 200 fois plus nocif que le CO2. On estime que la concentration de ce gaz dans l'atmosphère augmente de 0.3% par an). On admet aussi que la pollution journalière par habitant est de l'ordre de 13 à 15 g d'azote (essentiellement d'origine métabolique) dont 1/3 sous forme ammoniacale et 2/3 sous forme organique (urée, acide urique).

On note généralement que :

- son oxydation biologique (NH_4^+) par réaction de nitrification dans les eaux naturelles s'accompagne d'une consommation accrue d'oxygène théoriquement estimée à 4.3 mg d'O_2/mg d'azote oxydé.
- 0une teneur en ammoniaque de l'ordre de 0.02 mg/l est toxique pour la vie piscicole.
- la présence de NH_4^+ engendre une surconsommation de chlore dans le traitement de l'eau potable.
- une charge importante (50 mg/l) de NO_3^- est susceptible de provoquer la méthémoglobinémie chez le nourrisson (par réduction du nitrate en nitrite et oxydation du fer ferreux de l'hémoglobine en fer ferrique).
- une charge supérieure à 25 mg/l NO_3^- entraîne un développement indésirable d'algues conduisant à l'eutrophisation du milieu.

2-2 Exigences aux stations d'épurations en matière de rejets :

Tableau 2 : Concentrations limites en nitrate dans les rejets des stations d'épuration

CHARGE BRUTE DE POLLUTION ORGANIQUE RECUS EN (KG/L)	CONCENTRATION MAXIMALE EN NO_3^- (mg/l)
600 à 6000 > 6 000	15 10
CHARGE BRUTE DE POLLUTION ORGANIQUE RECUS EN (KG/L)	**RENDEMENT MINIMUM (%)**
≥600	70

2-3 Processus d'élimination de l'azote:

Le traitement de l'azote apparaît donc fondamental et l'amélioration des procédés visant à son élimination prend toute son importance. On distingue essentiellement deux types de procédés. Les procédés physico-chimiques et les processus biologiques de nitrification dénitrification qui s'avèrent habituellement plus économiques que les premiers.

Sachant que depuis le prétraitement jusqu'au traitement tertiaire, l'efficacité et le coût des opérations de dépollution évoluent de manière croissante.

2-3-1 Procédés physico-chimiques :

2-3-1-1- Principe de l'échange d'ions :

L'échangeur d'ions est un matériau solide, souvent une résine, capable d'éliminer par adsorption, les ions d'une certaine charge (cation ou anion) d'une solution. Ceux-ci sont remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge libérés de la résine (contre-ions) où ions échangeable. Dans le cas de l'élimination des nitrates, on utilise des résines de type anionique (échangeurs d'anions). Comme la plupart des échangeurs, ces résines se présentent sous forme de billes de diamètre compris entre 0,4 et 0.8 mm. La réaction d'échange d'ions entre une résine et une eau contenant des nitrates dépend de l'affinité relative de la résine pour le contre-ion qu'elle porte et pour l'ion qu'elle doit fixer.

La résine porte des groupes ioniques (positifs : G+) et pour assurer la neutralité électrique, il y a un contre-ion négatif (X–, en général un chlorure Cl– ou HCO3-) qui peut partir.	les anions (nitrates : NO3-) peuvent se fixé à la résine et remplacer le contre-ion (X-) sur la résine, car celle-ci a plus d'affinité pour les nitrates que pour le contres-ion(X-)	les cations (Na+ ici, qui accompagne les nitrates) sont emmenés dans l'eau en même temps que les contre ions de la résine. Les nitrates eux restent fixées sur la résine. L'eau est débarrassée de ses nitrates .

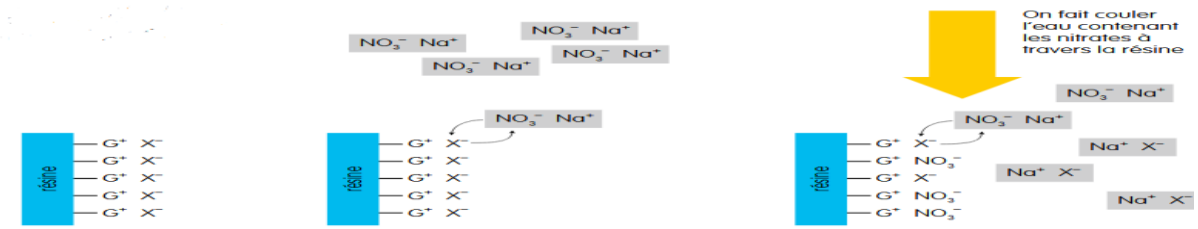


Figure 15 : Processus de l'échange d'ion

Il est évident que la résine ne peut pas éternellement adsorber des nitrates, elle se sature et il faut la changer.

REMARQUE : Les anions nitrates ne sont pas les seuls retenus. Il existe même une sélectivité différente suivant l'espèce anionique. Des plus retenus aux moins retenus, l'ordre généralement cité est : SO42- > NO3- > Cl- > HCO3- > OH-. Ainsi, une eau riche en sulfates pourra être gênante dans l'élimination des nitrates, la résine fixant préférentiellement les sulfates.

2-3-2 Procédés biologiques :

PRINCIPE :

Une station d'épuration biologique élimine systématiquement une certaine proportion d'azote des eaux usées du fait de la croissance bactérienne. Lorsqu'une eau usée possède un rapport azote / source carbonée trop élevé, l'adsorption pour la croissance bactérienne ne suffit pas au respect des normes de rejet. L'excès d'azote peut être éliminé biologiquement en adaptant la station d'épuration pour y intégrer un processus de nitrification / dénitrification. Par ce processus, l'azote ammoniacal contenu dans l'eau usée est transformé en deux étapes en azote gazeux. Lors de la première étape, aérée, les bactéries nitrifiantes transforment l'azote ammoniacal en nitrates. Les nitrates sont ensuite transformés en azote gazeux (N_2), gaz inoffensif présent en grande quantité dans l'atmosphère, lors de l'étape de dénitrification, non aérée.

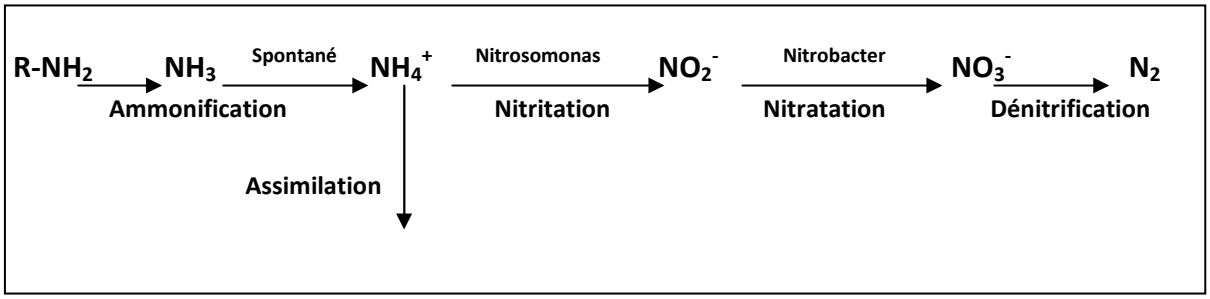


Figure 16 : Schéma réactionnel de la minéralisation de l'azote

2-3-2-1 l'ammonification :

Elle est réalisée, par des germes hétérotrophes, elle ne permet pas de fournir un abattement important en azote de Kjeldahl (qui est la somme de ($N_{organique}$) + $N\text{-}NH_4^+$) dans l'azote organique ($N_{organique}$) sont inclus ceux des amines, des amides, de l'urée, de l'acide uréique etc. mais simplement de fournir une source d'azote minéral pour que les bactéries puissent minéraliser et assimiler la pollution carbonée. L'azote minéral est transféré de la phase liquide vers la phase solide (biomasse) par assimilation c'est à dire une partie de l'azote (ammoniacal et même organique) est directement absorbée par les bactéries, pour participer à la synthèse bactérienne et sera éliminée en fin de filière.

2-3-2-2 La nitrification :

Lors du traitement biologique des eaux usées, le NH_4-N est transformé en NO_2-N puis en NO_3-N grâce à l'apport d'oxygène. On distingue deux types de nitrification :

- la nitrification hétérotrophe qui est réalisée par des organismes hétérotrophes. Elle concerne plusieurs groupes de bactéries, de champignons et d'algues, etc. Elle est encore assez mal connue et peu maîtrisée.
- La nitrification lithotrophe ou autotrophe caractérisée par l'utilisation de substrats inorganiques comme source d'énergie pour la croissance bactérienne. Elle concerne deux groupes de bactéries spécialisées dans cette fonction (Nitrosomonas et Nitrobacter) sont très fragiles c'est le processus le plus utilisées.

Nitrosomonas et Nitrobacter sont des bactéries autotrophes aérobies strictes tirent leur énergie de l'oxydation du carbone présent dans le dioxyde de carbone ; par contre, elles ont besoin d'oxygène pour leur respiration. La nitrification dépend de plusieurs facteurs, dont les principaux sont :

- **La charge massique:** le développement des bactéries autotrophes est plus lent que celui des bactéries hétérotrophes. Ainsi, pour assurer une nitrification importante, il faut favoriser l'accroissement de la biomasse nitrifiante. Cela se traduit par une faible charge massique, ou un âge de boues important, les deux paramètres étant inversement proportionnels.
- **La concentration En Oxygène Dissous (Influence Forte) :** le rendement augmente avec le taux d'oxygène dissous dans l'eau, et l'on considère généralement qu'une concentration d'au moins 2 mg O2/l est souhaitable.
- **La Température :** le développement optimal des bactéries se situe autour de 30°C, et une baisse de la température implique un temps de résidence plus long pour obtenir un même taux de nitrification. Nitrobacter serait plus sensible que Nitrosomonas à des fluctuations de température.
- **Le PH :** en dehors de la gamme 6,0 à 9,6, le procédé de nitrification est totalement inhibé, mais il semble délicat de définir la gamme optimale de pH : certains donnent 8,0 à 9,0, d'autres 7,5 à 8,5, ou encore 7,2 à 9,0. En outre, le procédé consommant de l'alcalinité, le pH a tendance à diminuer. La solution consiste alors à stripper le CO2 afin de limiter l'acidification du milieu

- **Le Phosphore :** les concentrations nécessaires varient beaucoup selon les spécialistes , mais une concentration minimum de 0,5 mg/l ne serait pas limitante.

2-3-2-3 Dénitrification :

La dénitrification est l'action de dénitrifier, c'est à dire une réduction des ions nitrates NO_3^- en ions ammonium NH_4^+ ou en azote gazeux N_2 par les bactéries dénitrifiantes ou des organismes dénitrifiants. Pour l'azote, c'est l'une des phases essentielles du cycle de l'azote, on l'appelle parfois, la respiration nitrate. La dénitrification suit la phase de nitrification dans le cycle de l'azote. Elle se passe essentiellement en anoxie (milieu anaérobique), à une concentration d'oxygène moléculaire O_2 inférieure à 0,2 mg/l. Cette phase consiste à transformer les nitrates en azote gazeux (N_2) ou en azote assimilé (NH_3).

Même si beaucoup de bactéries sont dénitrifiantes, les plus actives dans ce procédé sont essentiellement les **Pseudomonas** (hétérotrophes aérobies facultatives). Il existe également **Thiobacillus** dénitrificans, bactérie présente dans les réacteurs au soufre.

Les principaux facteurs influençant la dénitrification sont :

- **Le substrat:** la concentration en carbone est un facteur limitant dans la mesure où un apport insuffisant entraîne une dénitrification incomplète. En outre, la qualité de l'apport carboné est primordiale car il s'est avéré que les composés à un seul carbone constituent les substrats idéaux. En terme de quantité, le procédé est ralenti si le rapport DBO5/N à dénitrifier devient inférieur à 2 ; l'USEPA (agence environnementale américaine) préconise même une valeur minimale de 3. Idéalement, ce rapport est de 10.

- **La concentration en oxygène dissous:** de façon générale, l'oxygène inhibe la synthèse des enzymes nécessaires à la dénitrification. Il faut donc une absence totale d'oxygène. Cependant, s'il y a eu des conditions anoxiques favorisant cette synthèse enzymatique, l'apparition de conditions légèrement aérobies ne remet pas en cause la dénitrification.

- **La température:** l'optimum se situe dans la gamme 25 à 30°C, mais le processus peut avoir lieu entre 5 et 50°C. Si une baisse de température ne constitue pas un frein à la cinétique de la réaction, une augmentation de température active la dénitrification de façon très nette ;

- **Le pH:** l'efficacité de la dénitrification diminue fortement en dehors de la gamme 6,0 à 8,0, avec un optimum se situant aux alentours de 7,0 – 7,5. En outre, on observe une augmentation de l'alcalinité, qui ne compense cependant pas celle de l'acidité lors de la nitrification ; l'évolution du pH durant la dénitrification dépend alors du pouvoir tampon des eaux à traiter.

Les équations globales simplifiées peuvent s'écrire :

La nitrification en phase **aérobie** : $NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO^-_3 + 2H^+ + H_2O$

La dénitrification en phase **anaérobie** : $NO^-_3 + 6H^+ + 5\ e^- \rightarrow ½\ N_2 + 3\ H_20$

CHAPITRE 4 : Réutilisation des eaux épurées :

PRINCIPE :

Les eaux usées sont celles rejetées par les collectives, puis acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées. Dans le cycle d'assainissement “classique” de l'eau, celles-ci sont ensuite rejetées dans le milieu naturel. La réutilisation des eaux usées épurées ou REUE propose de récupérer directement ces eaux usées épurées, de leur appliquer un nouveau traitement et de s'en servir pour toutes sortes d'usages .Pour cela, il est primordial d’augmenter le nombre de stations d’épuration dotées d’équipements de traitements tertiaires qui permettraient un meilleur abattement de la pollution notamment azotée et phosphatée. On constate que la REUE agit à deux niveaux : premièrement, elle évite les rejets d'eaux issues de stations d'épuration dans le milieu naturel, et deuxièmement, elle constitue un approvisionnement supplémentaire.

Par ailleurs, Le Maroc s’est fixé pour objectif ambitieux de réutiliser 325 millions m3 d’eaux usées à l’horizon 2030, a annoncé la ministre déléguée chargée de l’Eau, Charafat Afailal. Atteindre cet objectif nécessite à ce qu’il y ait changement du modèle actuel de la gestion des eaux usées. Et ce, en passant du modèle du « traitement et rejet » au modèle « traitement et réutilisation ». Le volume d’eaux usées déversées par les villes marocaines est estimé actuellement à près de 550 millions m3 par an, dont 45% sont épurées grâce à 117 Stations d’épuration, indique madame la ministre. En revanche, malgré ces potentialités, la réutilisation des eaux usées reste limitée avec seulement 24 projets de réutilisations réalisées mobilisant près de 47,5 millions m3/an, soit un taux de réutilisation de 9%.

1 Les différentes utilisations des eaux usées traitées :

La récupération et la réutilisation de l'eau usée traitée, s'est avérée être une option réaliste pour couvrir le déficit et les besoins croissants en eau dans les pays hydro sensibles bien que le Maroc . Selon (FAO et Aquastat, 1998), les principales utilisations des eaux usées traitées dans le monde sont les suivantes :

- **Utilisations urbaines :** arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation de plans d'eau, auxquelles on peut ajouter une utilisation périurbaine qui se développe comme l’arrosage des terrains de golfs ;
- **Utilisations agricoles :** irrigation ;
- utilisation pour la lutte contre les incendies ;

- **utilisations industrielles :** cette réutilisation est importante en raison du recyclage fréquent des eaux de procédés qui est souvent justifiée par la réduction des consommations mais aussi par la récupération des sous-produits. Mais elle peut aussi concerner les eaux de refroidissement ;

2 Situation de réutilisation des eaux usées traitées en agriculture :

Les eaux usées sont de plus en plus utilisées par l'agriculture des pays en développement et des pays industrialisés. Cette utilisation est motivée principalement par :

- La rareté grandissante des ressources en eau et les tensions de plus en plus fortes sur ces ressources ; la dégradation des sources d'eau douce résultant de l'élimination incorrecte des eaux usées.
- La croissance démographique et l'augmentation résultante de la demande en nourriture et en fibres.
- La prise de conscience grandissante de la valeur en tant que ressource des eaux usées et des nutriments qu'elles contiennent.
- Les objectifs du Millénaire pour le développement (OMD), en particulier ceux visant à garantir la pérennité de l'environnement et l'élimination de la pauvreté et de la faim.

Cependant la réutilisation agricole des eaux usées est devenue une pratique très répandue et réglementée dans plusieurs pays. Ainsi, en Floride et en Californie (USA), des volumes de 340 000 m3/j et de 570 000 m3/j d'eaux usées étaient déjà réutilisés en agriculture en 1995.

On peut, également, citer les pays du proche et du moyen Orient tels l'Egypte qui utilise 550 000m3/j, le Koweït avec 140 000m3/j, l'Arabie Saoudite avec 600 000m3/j, la Syrie avec 1000 000m3/j et les Emirats Arabes Unis, avec un volume de 500 000m3/j (FAO, Aquastat, 1998).

C'est généralement dans les pays où les ressources en eau sont les plus faibles que cette pratique est la plus courante. À titre d'exemple, la ville de Mexico apparaît comme le plus important projet de réutilisation des eaux usées au niveau mondial réutilise presque 100 % de ses eaux usées pour irriguer.

Il existe toutefois un risque de contamination des sols, de l'eau et de la végétation. Les eaux usées et épurées doivent donc répondre à des critères de qualité rigoureux, même si ceux-ci peuvent être moins stricts que ceux de l'eau potable. Donc les conditions de REUT doivent être encadrées réglementairement afin de prévenir les risques sanitaires liés à cette pratique. En effet, les eaux résiduaires urbaines, même traitées par une station d'épuration (STEP), contiennent divers micro-organismes pathogènes et des éléments organiques et minéraux potentiellement toxiques.

3 Évaluation des risques sanitaires :

Pour évaluer les risques sanitaires, on fait appel à trois types d'évaluations : analyses chimiques et microbiologiques en laboratoire, études épidémiologiques et évaluation quantitative des risques microbiens (et chimiques). Les eaux usées contiennent divers agents pathogènes, dont un grand nombre sont capables de survivre dans l'environnement (dans les eaux usées, sur les cultures ou dans les sols) suffisamment longtemps pour être transmissibles aux hommes**.**

4 Aspect nutritif des eaux usées traitées :

Les nutriments se trouvant en grandes quantités dans l'eau usée, et qui sont important en agriculture et en gestion des paysages sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. D'autres macro- et micronutriments peuvent également être présents. En outre, la présence de matière organique dans l'eau usée peut par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol. Pour certaines cultures, aucun engrais additionnel n'est nécessaire. Par contre, lorsque les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité.

4-1 Charge nutritive en NPK :

La concentration en azote, en phosphore et en potassium dans les eaux usées traitées peut varier sensiblement selon la source d'eau usée primaire et le procédé de traitement. En général, l'azote et le phosphore sont réduits par le traitement mais la concentration en potassium reste approximativement identique au niveau trouvé dans l'eau usée brute.

- Les quantités en azote, phosphore et potassium appliquées par hectare avec une irrigation de 1000 mm d'eau usée ayant une concentration telle que montrée au **Tableau 3** sont donnés dans ce même tableau. Évidemment, l'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée.
- Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins en eau des cultures.

Tableau 3 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992)

Mode d'irrigation	Azote	Phosphore	Potassium
Raie	40-60	10-20	60-75
Aspersion	60-70	15-25	70-80
Localisée	75-85	25-35	80-90

De telles quantités d'engrais, fournissent la totalité ou plus d'azote normalement requise pour certaines cultures ainsi qu'une grande partie du phosphore et de potassium. A cet égard, chaque culture doit être considérée séparément pour estimer les besoins en éléments fertilisants supplémentaires.

Dans certains cas, les nutriments dans l'eau usée peuvent être en quantité supérieure à celle nécessaire à la croissance équilibrée des cultures et peuvent potentiellement stimuler une croissance excessive des parties végétatives des cultures plutôt que les fleurs et les graines.

Cela peut être un problème pour des cultures comme le tournesol, le coton et quelques fruits. En cas d'excès de nutriments, un système de culture et/ou un mélange approprié d'eau usée traitée à de l'eau douce, pour réduire l'application de fertilisants, sont des méthodes conseillées.

Tableau4 : Absorption en NPK (en %) en fonction du mode d'irrigation

	N	P	K
Concentration en nutriments (mg/l)	40	10	30
Nutriments apportés annuellement par l'application de 10 000 m^3 d'eau/ha (1000 mm)	400	100	300

5 Évaluation des risques sanitaires :

Pour évaluer les risques sanitaires, on fait appel à trois types d'évaluations : analyses chimiques et microbiologiques en laboratoire, études épidémiologiques et évaluation quantitative des risques microbiens (et chimiques).

Les eaux usées contiennent divers agents pathogènes, dont un grand nombre sont capables de survivre dans l'environnement (dans les eaux usées, sur les cultures ou dans les sols) suffisamment longtemps pour être transmissibles aux hommes. L' (**annexe 1)** résume les informations fournies par des études épidémiologiques sur la transmission des maladies infectieuses liée à l'utilisation d'eaux usées en agriculture. Aux endroits où l'on utilise des eaux usées sans traitement adéquat, les plus grands risques sanitaires proviennent des helminthes intestinaux.

Ainsi que les mesures de protection sanitaire suivantes ont des effets sur les consommateurs des produits :

- Traitement des eaux usées ;
- Restrictions portant sur les récoltes ;
- Techniques d'épandage des eaux usées permettant de réduire au minimum la contamination (irrigation par goutte-à-goutte, par exemple) ;
- Périodes de retrait permettant le dépérissement des agents pathogènes après la dernière application d'eaux usées ;
- Pratiques conformes à l'hygiène sur les marchés alimentaires et pendant la préparation des aliments ;
- Promotion de la santé et de l'hygiène ;
  lavage, désinfection et cuisson complète des produits permet de réduire notablement le risque lié aux agents pathogènes infectieux. En revanche, la cuisson n'a que peu ou pas d'effet sur les concentrations de produits chimiques toxiques éventuellement présents. ;
- Chimiothérapie et vaccination…

Les activités utilisant des eaux usées peuvent entraîner l'exposition des travailleurs et de leurs familles à des maladies liées aux excrétas (notamment la schistosomiase), à des irritants cutanés et à des maladies à transmission vectorielle (en certains endroits). Le traitement des eaux usées est une mesure de lutte contre les maladies liées aux excrétas, les irritants cutanés et la schistosomiase, mais n'a guère d'impact sur les maladies à transmission vectorielle. D'autres mesures de protection sanitaire, destinées à protéger la santé des travailleurs et de leurs familles qui sont exposées incluent :

- l'utilisation d'équipements de protection individuelle ;

- l'accès à une eau de consommation saine et à des installations d'assainissement dans les fermes ;
- la promotion de la santé et de l'hygiène ;
- la chimiothérapie et la vaccination ;

6 Avantages de la réutilisation des eaux usées traitée

Les avantages peuvent être brièvement récapitulés comme suit :

- économie d'eau claire ;
- économie de fertilisants ;
- accroissement de rendements ;
- protection de l'environnement ;
- création d'emplois.

7 Réutilisation des eaux usées épurées dans le grands Agadir

Raisons :

- Les ressources en eau deviennent de plus en plus rares dans la région du Souss-Massa;
- La région du Souss-Massa constitue l'un des pôles touristiques les plus grands du pays
- La région d'Agadir contribue dans les exportations nationales à plus de 50 % pour les agrumes.
- La nappe phréatique du Souss-Massa subit un déstockage continu qui se traduit par une baisse généralisée du niveau piézométrique (2 à 3 m par an).
- Le Plan Directeur de l'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE) pour le bassin Souss Massa, préconise de recourir aux ressources non conventionnelles : réutilisation des eaux usées épurées et dessalement d'Eau de mer pour différents usages.

Intérêts :

- Recommandée dans les sessions du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC 1994 et 2001).
- S'inscrit dans la stratégie de la gestion intégrée des ressources en eau.
- Représente une contribution non négligeable à la réduction du déficit hydrique pour la région du Souss Massa, notamment en zone périurbaine (~ 50 Mm3/an).
- Permet de générer un gain économique important en termes d'éléments nutritifs fertilisants. 1000 m3 apporte 56 Kg d'azote (N), 13 Kg de phosphore (P2O5) et 34 Kg de potasse (K2O)

7-1 Production des eaux usées épurées dans le Grand Agadir : Station d'épuration M'zar

Tableau 5 : Les volumes annuels prévisionnels des eaux usées qui seront produites par la station M'zar et qui seront réutilisables en irrigation se présentent comme suit :

Années	**2006**	**2011**	**2012**
Volume eau épurée (m3/j)	**10 000**	**20 000**	**30 000**

7-2 Possibilités de réutilisation des eaux usées épurées de la station M'zar:

Tableau 6 : réutilisation des eaux épurées de la STEP M'ZAR

Année	Consistance	Bureau d'étude	Financement
1999	Etude de faisabilité technique et environnementale de la réutilisation des eaux usées et des boues de la STEP de M'Zar dans le cadre la révision du Plan Directeur d'Assainissement Liquide (PDAL) du Grand Agadir,	**SAFEGE**	**AFD(l'Agence Française de Développement)**
2002	Etude de récupération et valorisation des eaux usées épurées en vue de vérifier la viabilité technique, économique, sociale et environnementale du projet et de développer la structure institutionnelle nécessaire pour l'utilisation saine des eaux épurées	**Hydrosult**	**ACDI (Etablissement canadien) pour le compte de la communauté urbaine d'Agadir**
2006	Etude de faisabilité de réutilisation de l'eau épurée de la STEP de M'Zar en irrigation (réutilisation agricole) et en arrosage des espaces verts et des golfs du Grand Agadir (réutilisation urbaine).	**EURATA**	**AFD – BEI**
2013	Dernière étude qui portait sur l'établissement des études d'Avants-Projets-Détaillés et Dossiers de Consultation des Entreprises nécessaires pour la réalisation du projet de réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration MZAR pour l'arrosage des espaces verts du Grand Agadir .	**Phenixa SARL, IGIP GmbH et Burgeap**	**AFD (l'Agence Française de Développement dans le cadre d'un don).**

Cette étude a permis de :
•recenser les espaces verts successibles de réutiliser les eaux épurées,
•définir les ouvrages et équipements nécessaires à réaliser pour la desserte des espaces verts recensés
•définir les coûts d'investissement et d'exploitation de cette réutilisation
•proposer le mode de gestion adéquat

7-3 Superficie et besoin en eau pour chaque zone d'irrigation :

Tableau 7 : Besoin d'irrigation à la région d'Agadir

Zone (Z) d'irrigation	Espace vert	Aire globale (ha)	Besoin moyen m^3/j	Besoin de pointe m^3/j
Z gravitaire	**Golf du palais - Ben-Sergao**	60.00	2016	3326
	Golf Les Dunes - Club Med	106.00	3562	5877
	Golf du Soleil	120.00	4032	6653
	Golf Océan	90.00	3024	4990
	E.V publics Inezgane	48.00	1046	1727
	Ss-Total	424	13680	22573
Z bas service	**Golf Royal – Aït Melloul 1**	36.00	1170	1931
	Golf Aït Melloul 2	80.00	2600	4290
	E.V Pub. Agadir & Ben-Sergao	140.00	3080	5081
	E.V Pub. Dcheira	37.00	857	1414
	Parc Aït-Mellloul	35.00	770	1270
	Allées Aït-Melloul & Rocade	42.00	875	1444
	E.V Priv. & SONABA	47.00	1034	1706
	E.V Publ. Tikiouine	55.00	1274	2102
	Jardin Ait Melloul	6	125	206
	Ss-Total 2.	478	11784	19444
Z haut service	**Jardins Publ. Agadir**	34.00	748	1234
	Allées Agadir	92.00	2024	3339
	Ss-Total 3	126	2772	4573
TOTAL		1028	28236	46590

Selon les premiers éléments tirés de cette étude, il est à souligner que :

- les besoins moyens en eau actuels et futurs, des golfs et espaces verts avoisinent les 28 000 m3/j.
- Les modules réalisés à la STEP Mzar d'une capacité totale de 30 000 m3/j permettent de satisfaire la demande en eau de l'ensemble des golfs. L'infrastructure du réseau réalisée par la Régie permet de satisfaire dans l'immédiat les besoins moyens de la zone gravitaire (13000 m3/j); ce qui se traduit par un gain sur l'utilisation de la ressource souterraine.
- Le Golf de l'océan pour lequel la qualité de l'eau de la nappe est trop saumâtre est desservi depuis Août 2010 par les eaux épurées de la STEP M'Zar avec un débit moyen de 3 000 m3/j.

- L’infrastructure nécessaire aux raccordements des Golfs des dunes et du Soleil est réalisée par la RAMSA jusqu’à l’entrée des sites.
- L’espace vert de la Commune urbaine d’Inezgane situé le long de la route d’accès au PalaisRoyal de Bensergao et en face des golfs suscités vient d’être alimenté en eau épurée.
- Les éleveurs du quartier ‘’Tarrast’’ de la Commune Urbaine d’Inezgane regroupés dans le cadre d’une association et exploitant les terres agricoles de la rive droite de l’Oued souss sont intéressés par la réutilisation des eaux épurées. Une demande a été formulée dans ce sens. L’étude nécessaire pour alimenter cette zone est en cours d’établissement.

Contraintes pour la réutilisation des eaux usées épurées de la station M’zar:
Si le rendement épuratoire est très satisfaisant en général, Les concentrations en sels solubles dans les effluents d’eaux usées sur tout d’origine industrielle (cas des unités de conserves de poissons rejetant des saumures) sont très élevées.
En effet, la concentration des sels dans les eaux usées épurées est comme suit:

- La conductivité électrique atteint les 4 000 µS/cm
- Les taux de chlorures sont de 850 mg/l

Ces concentrations dépassent largement les normes de réutilisation respectivement de 3000µS/cm pour la conductivité et de 100mg/l pour les chlorures .Leurs conséquences seraient néfastes sur:

- La production végétale (phyto-toxicité, perturbation nutritionnelle, stress hydrique……)
- Les propriétés physico-chimiques des sols (et par conséquence détérioration de sa structure).

CONCLUSION :

Les eaux usées sont très concentrées en polluants, leurs réutilisations brutes présentent des risques sanitaires potentiels élevés. Actuellement, il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d’abaisser les concentrations en polluants et d’atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable. Nous sommes ainsi, en mesure de disposer d'une eau de qualité acceptable, surtout au niveau de l'hygiène et de la protection de l'environnement

Chapitre 5 : Partie expérimentale

La partie expérimentale consiste à doser la nitrate et la phosphate à partir de trois prélèvements prévenant tous de la STEP M'ZAR concernant l'eau de l'entrée de la station qui a déjà subi un prétraitement à la STATION SOUSS, et l'eau de la sortie de la STEP qui vient de passer par un traitement tertiaire et prête à être réutilisé ou rejeté dans les milieux naturels . Les expériences ont été réalisées au laboratoire d'analyse d'eau potable adhéré à la RAMSA.

Objectifs :

- ✓ Déterminée et comparé la quantité de l'azote et du phosphore entre l'entrée et la sortie de la STEP.
- ✓ Eprouvé si l'effluent respecte les normes des rejets pour ces deux substances
- ✓ Contribution à la réduction simultanée de la pollution azotée et phosphorée de l'effluent traité de la même STEP.

1-Réactifs et mode opératoire :

Après avoir effectué les prélèvements au niveau de la station on suit le processus suivant à la fois pour les deux échantillons (au niveau de l'entrée et de la sortie) **voir Annexe 2** :

1-1 Dosage nitrate :

1. Prélever 10 ml de l'échantillon
2. Ajouter 1 ml de salicylate de sodium
3. Mélanger puis évaporer à 80°C
4. Laisser refroidir puis ajouté 2ml de l'acide sulfurique concentré
5. 10min de refroidissement
6. Ajouter Eau distillé 15ml
7. Ajouter 10 ml tartrate double
8. Compléter jusqu'à atteindre 100ml avec eau distillé
9. Effectuer la lecture au spectrophotomètre à λ =415n

1-2 Dosage phosphate :

1- Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap zip détachable.
2- Dévissez le DosiCap zip
3- Pipeter 0.4ml d'échantillon d'eau
4- Visser le DosiCap zip dirigeant le cannelage vers le haut
5- Secouer énergétiquement
6- Chauffer le thermostat 100°C /60min
7- Pipeter dans la cuve une fois refroidie 0.5 du réactif B après (LCK 350 B) fermer immédiatement le réactif B après emploi
8- Visser la cuve avec un DosiCap C (LCK 350 C) gris
9- Mélanger le contenu de la cuve en la retournant plusieurs fois de suite. attendre 10min puis mélanger à nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer

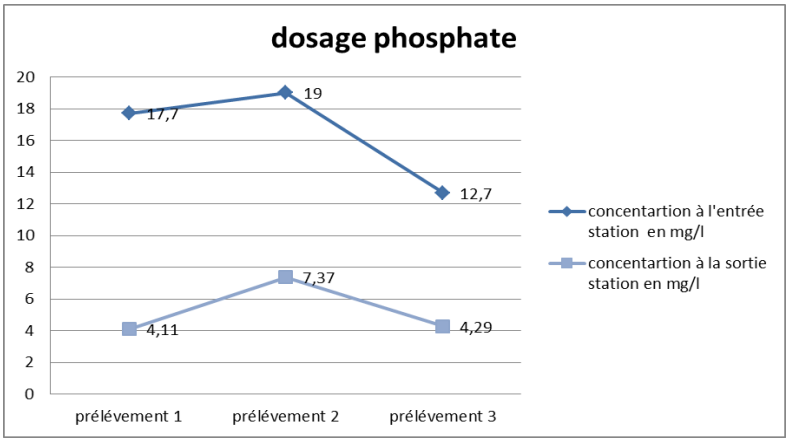
2-Résultats des trois prélèvements :

- **Tableau 8 : Entrée de la station :**

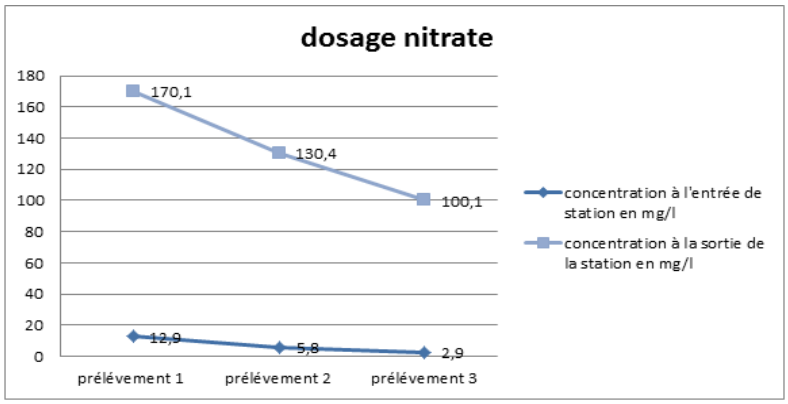
	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)	Température	PH	Conductivité
Prélèvement 1	12.9	17.7	26.2	7.15	4680
Prélèvement 2	5.8	19	27.5	7.10	4300
Prélèvement 3	2.9	12.7	27.3	7.10	4410

Tableau 9 : Sortie de la station :

	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)	Température	PH	Conductivité
Prélèvement 1	170.1	4.11	25.2	7.95	3680
Prélèvement 2	130.4	7.37	26.1	7.90	3520
Prélèvement 3	100.1	4.29	25.9	7.95	3580



Graphique 1 : dosage de la phosphate



Graphique 2 : dosage de la nitrate

3- Analyse :

La concentration de NO_3^- a fortement augmenté de l'entrée vers la sorte parfois elle peut arriver jusqu'à 400mg/l qui est beaucoup plus élevé que la norme de rejets.

La concentration du phosphate a diminué par la méthode de déphosphatation physicochimique que la station adopte par l'utilisation du chlorure ferrique mais cela ne semble pas trop efficace puisque elle n'obéisse par à la norme de rejets qui limité à 2mg/l.

4- solutions pour luttées contre la surconcentration

- La station doit adopter un traitement biologique aérobie, tels que la boue activée. La déphosphatation biologique est principalement liée à l'existence de conditions anaérobie et aérobie réelles dans les réacteurs concernés, en zone anaérobie les bactéries subissent un stress sur le phosphore et en zone aérobie en présence d'oxygène la respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leur stock de poly-phosphate. Le taux d'abattement du P par voie biologique peut atteindre 65%.
  L'âge des boues aussi à un rôle important, plus l'âge de boues est faible plus le métabolisme est élevé;
  Ainsi pour le traitement de nitrification –dénitrification qui nécessite l'apport de l'oxygène qui sert essentiellement à produire l'énergie nécessaire à la synthèse des bactéries autotrophes.
- Assurez que l'installation septique ou le système d'eau usée fonctionne adéquatement ;
- Eliminez l'utilisation de fertilisants dans les parcs et les jardins et favorisez l'ensemencement de trèfle et de graminées (les légumineuses comme le trèfle ont la propriété de produire de l'azote naturellement) ;
- Minimisez l'utilisation de compost dans les jardins et vos plates-bandes en prenant bien soin de l'enfouir dans le sol afin de limiter le ruissellement des nutriments en surface ;
- conservez les plantes riveraines indigènes puisque celles-ci réduisent l'érosion du sol et absorbent une partie des nutriments des eaux de ruissellement et des eaux épurées rejetés dans les rivières ;
- utilisez des savons ,les détergents et d' autres produits sans phosphate, de plus en plus répandus sur le marché , la Suisse par exemple a interdit en 1986 l'emploi des phosphates dans les lessives Elle a recours depuis lors à un produit de substitution efficace, le nitrilotriacétate, déjà utilisé depuis plus de 20 ans au Canada. Ce produit se dégrade vite et bien, mais il a le défaut d'entraîner la libération des métaux lourds fixés dans les sédiments, et ses effets à long terme sont mal connus. Il est encore interdit en France. D'autres pays utilisent d'autres produits de substitution, comme les zéolithes commercialisées en 1989 : bien que non biodégradables, ces composés n'ont pas d'effet nocif connu.
- Essayer plusieurs coagulants (faire des jars test).
- La fertilisation et respect de l'environnement sont deux notions indissociables. C'est pourquoi l'agriculture raisonnée a introduit des exigences concernant la réalisation de plans prévisionnels de fertilisation et l'enregistrement de tous les apports de matières fertilisantes par parcelle dans un cahier d'épandage.
  La méthode du bilan des nutriments précisé par l'analyse de reliquat d'azote, puis par l'utilisation d'outils de pilotage sur la culture, permet des ajustements successifs pour tenir compte des aléas du climat puis de l'état de la culture elle-même. Gagner en efficacité avec l'azote minéral, c'est un gain pour l'agriculteur et le moyen de mieux protéger l'environnement. C'est aussi le meilleur moyen de bien nourrir les plantes pour produire une alimentation saine et équilibrée.

Conclusion général :

Le phosphore plus que l'azote est le facteur limitant de l'apparition de l'eutrophisation des eaux. Bien que l'on constate un ralentissement des proliférations végétales, il existe une volonté croissante de contrôlé leur flux .

L'objectif de ce travail est d'étudier le fonctionnement épuratoire de la step afin de déterminer les principaux facteurs responsables de la surconcentration en azote et phosphore et d'étudier des stratégies et des solutions envisagées qui peuvent contribuer à

leur élimination et d'évaluer sous les conditions d'épuration, les performances de chaque méthodes.

Les méthodes épuratoire élaborées par la step ne semblent pas efficaces selon les résultats expérimentales effectuées dont ils n'obéissent pas aux normes de rejets réglementaire c'est pour cela, la station doit adopter de nouveau méthodes biologiques de préférence et moins couteux.

Si cela est fait il reste à gérer après traitement les boues qui résultent. La meilleure solution consiste bien sûr à les recycler en agriculture en respectant la réglementation en vigueur.

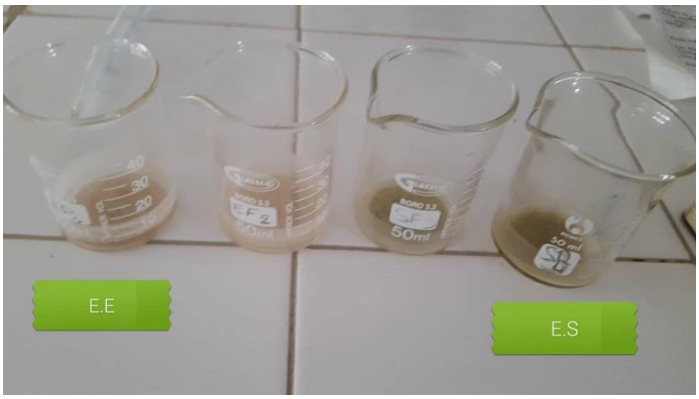
Une des pistes explorées par les chercheurs dans ce domaine est de provoquer la précipitation d'un composé particulier : la struvite, qui est un sel d'azote et de phosphore, qui pourrait alors constituer un engrais contenant à la fois l'azote et le phosphore nécessaires aux cultures. Cela permettrait alors une récupération et une valorisation de ces deux éléments indispensables à l'agriculture.

Annexe 1 : Résumé de l'évaluation des risques sanitaires associés à l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation.

Groupe exposé	Menaces pour la santé		
	Infestations par des helminthes	**Infections bactériennes/ virales**	**Infections à protozoaires**
Consommateurs	Risque significatif d'infestation des enfants et des adultes par des *Ascaris* par le biais d'eaux usées non traitées	Flambées de choléra, de typhoïde et de shigellose signalées comme résultant de l'utilisation d'eaux usées non traitées, cas de séropositivité pour *Helicobacter pylori* (eaux non traitées); augmentation de la fréquence des diarrhées non spécifiques lorsque l'eau contient plus de 10^4 coliformes thermotolérants/100 ml	Preuves de la présence de protozoaires parasitiques à la surface de légumes irrigués par des eaux usées, mais absence de preuve directe de la transmission de la maladie
Travailleurs agricoles et leurs familles	Risque significatif d'infestation par des *Ascaris* pour les enfants et les adultes en contact avec des eaux usées non traitées; il subsiste un risque, en particulier pour les enfants, même lorsque le nombre d'œufs de nématodes par litre dans ces eaux est <1; risque accru d'ankylostomiase pour les travailleurs agricoles	Risque accru de maladie diarrhéique chez les jeunes enfants en contact avec des eaux usées si ces eaux contiennent plus de 10^4 coliformes thermotolérants/100 ml; risque élevé de salmonellose chez les enfants exposés à des eaux usées non traitées; forte séropositivité pour les norovirus chez les adultes exposés à des eaux usées partiellement traitées	Risque d'infestation par *Giardia intestinalis* trouvé insignifiant en cas de contact avec des eaux usées traitées ou non traitées; risque accru d'amibiase observé en cas de contact avec des eaux usées non traitées
Communautés proches	Transmission des *Ascaris* non encore étudiée dans le cas de l'irrigation par aspersion, mais observations identiques pour l'irrigation par submersion et par rigoles d'infiltration impliquant un contact important	Relation entre l'irrigation par aspersion avec de l'eau de qualité médiocre (coliformes totaux: 10^6–10^8 CT/100 ml) et une forte exposition à des aérosols d'une part, et une augmentation des taux d'infection; on ne constate pas d'association entre l'utilisation d'eau partiellement traitée (10^4–10^5 CT/100 ml ou moins) pour l'irrigation par aspersion et un accroissement du taux d'infections virales	Pas de données sur la transmission des infections à protozoaires pendant l'irrigation par aspersion avec des eaux usées

Annexe 2 : partie pratique

1 : Echantillons à traiter **2: DosiCap zip(cuve) + reactif B + DosiCap zip C**



3 : Echantillon d'eau après l'addition du salicylate de Sodium et évaporation à 80°C. (dosage de la nitrate)

4 : Echantillon d'eau après addition l'acide sulfurique Concentré (dosage nitrate)