

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

CENTRE UNIVERSITAIRE ABDELHAFID BOUSSOUF MILA

INSTITUT DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

POLYCOPIE DE COURS

**EPURATION ET REUTILISATION DES
EAUX USEES**

SOMMAIRE

Chapitre I : Paramètres de pollution des eaux usées et normes de rejet	
I.1 Définition des eaux usées	01
I.2 Objectifs de l'épuration	01
I.3 Conséquences de la pollution des eaux sur la faune et la flore	01
I.3.1 Conséquences de la pollution des eaux sur la santé	01
I.3.2 Conséquences de la pollution des eaux sur la faune	01
I.3.3 Conséquences sur la flore	01
I.4. Origine des eaux usées	01
I.4.1. Eaux usées domestiques	02
I.4.2. Eaux usées industrielles	02
I.4.3. Eaux de ruissellement	02
I.4.4. Eaux usées agricoles	02
I.5. Collecte des eaux usées	02
I.6. Nature de la pollution	03
I.6.1. Pollution organique	03
I.6.2. Pollution minérale	03
I.6.3. Pollution microbiologique	03
I.6.4. Pollution toxique	04
I.7. Principaux paramètres de pollution	04
I.7.1. paramètres physiques	04
I.7.2. Paramètres chimiques	05
I.7.3. Elément toxiques	07
I.7.4. Paramètres biologiques	07
I.8. Conséquences sur le milieu récepteur	07
I.9. Estimation des rejets d'eaux usées	07
I.9.1 Notion d'équivalent habitant	07
I.9.2 Charges polluantes	07
I.9.3 Charges en DBO ₅	07
I.10. Composition moyenne des eaux résiduaires urbaines	08
I.11. Normes de rejet	08
I.12. Indicateurs de performances	08
Chapitre II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)	
II.1. Dégrillage	11
II.2. Tamisage	14
II.3. Dessablage	14
II.3.1 Différents types de dessableurs	15
II.3.2 Avantages et inconvénients des différents dessableurs	16
II.4. Dégraissage-déshuilage	17
II.4.1. Inconvénients causés par une eau huileuse sont	18
Chapitre III : TRAITEMENT PRIMAIRE (DECANTATION)	
III-1 Définition décantation	20
III. 2. Paramètres de décantation	21
III. 3. Décantation primaire	23
III.3.1. Application de l'utilisation de la décantation : en amont	23
III.3.2. Principe	23
III 4. Les principaux types de décanteurs	23
III 4.1 Les décanteurs statiques cylindro-coniques sans raclage	23
III 4.2 Les décanteurs statiques à raclage mécanique des boues	24

Chapitre IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

IV.1. Evolution de la DBO (matière organique) et de la masse bactérienne en fonction du temps	26
IV. 1.2.Interprétation analytique	27
IV.1.3.Apport en Azote et Phosphore	29
IV.2. Procédés d'épuration biologiques	29
IV.2.1. Boues activées	30
IV.2.2.Éléments d'une station à boues activées	30
IV.2.3. Régime hydraulique d'un procédé à boue activée	31
IV.2.3.1 Mélange intégral	31
IV.2.3. 2 Mélange piston	31
IV.2.4. Comparaison entre les deux systèmes	31
IV.2.5. Paramètres de fonctionnement en boues activées	31
IV .2.6. Besoins théoriques en oxygène	34
IV .2.7.Transfert d'oxygène	36
IV .2.8.Systèmes d'aération	37
IV .2.9. Clarificateur	37
IV .2.10.Production de boues	38
IV .3. Disques biologiques	39
IV.3.1-Principe de fonctionnement	39
IV.3.2 Avantages et inconvénients	40
IV.3.3-Contraintes d'exploitation	40
IV.4.Lit bactérien	40
IV.4.1.Principe de fonctionnement	40
IV.4.2 Matériau de remplissage du lit	41
IV.4.3 Critères de dimensionnement	42
IV.4.4. Calcul de la charge hydraulique	44
IV.4.5. Avantages et inconvénients des filières intensives	44
Chapitre V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION	46
V.1. Définition de réutilisation des eaux usées	46
V.2 Motif de réutilisation	46
V.3 Contraintes	46
V.4. Constituants importants dans les eaux usées	46
V.5. Réutilisation des eaux usées épurées	47
V.5.1. Dans le monde	47
V.5.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans quelques pays méditerranéens	47
V.5.3. Etat des lieux de la REUE en Algérie	47
V.5.3.1. Evolution des volumes des eaux épurées à l'échelle nationale	48
V.5.3.2. Les Facteurs influençant la REUE en Algérie	49
V.6. Avantage et inconvénient de REU	49
V.6.1. Avantage des réutilisations des eaux usées épurées	49
V.6.2. Inconvénients de la réutilisation	50
V.7. Traitement et stockage des eaux usées	50
V.7.1 Mode de traitement	50
V.7.2.Stockage	51
V.7.2.1 Recharge de nappe aquifère	51
V.7.2.2 Réservoirs de stabilisation	52
V.7.3.Critères globaux et procédure méthodologique de sélection des filières de réutilisation.	52

V.7.3.1 Evaluation des performances	52
V.7.3.2 Conformité aux normes	52
V.7.3.3 Comparaison préliminaire des filières	53
V.7.3.4 Evaluation des coûts et choix final	53
V.8. Exigences de mise en œuvre pour la réutilisation	53
V.9. Irrigation	53
V.9.1. Choix de la méthode d'irrigation	53
V.9.2. Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales exigées quand l'eau usée est utilisée	54
Chapitre VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION	
VI.1.Intérêt de réutilisation	57
VI.2 Risques Liés à la Réutilisation Agricole des Eaux Epurées	57
VI.2.1 Risque Microbiologique	57
VI.2.2 Risque Chimique	57
VI.2.3 Risque Environnemental	58
VI.3. Normes de réutilisation des eaux usées	59
VI.3.1 Normes OMS	60
VI.3.1.1 OMS 2006	63
VI.3.2. Législation française et les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF)	64
VI.3.3. Normes tunisiennes de réutilisation des eaux usées	65
VI.3.4. Cadre juridique Algérien	65
Chapitre VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES	
VII.1. Etude d'opportunité	68
VII.2. Etude de faisabilité	68
VII.2. Etude de faisabilité détaillée	68
VII.4. Evaluation des ressources et des besoins en eau	69
VII.4.1.Ressources en eau	69
VII.4.2.Besoins en Eau	69
VII.4.2.1 Besoins des agglomérations	69
VII.4.2.2 Besoins de l'industrie	70
VII.4.2.3 Besoins de l'agriculture	70
VII.5. Analyse diagnostic de l'assainissement dans la zone concernée	70
VII.5.1 Etat de l'assainissement	70
VII.5.2. Besoins en assainissement	70
VII.5.3. Etude du marché des eaux usées	71
VII.5.3.1. Inventaire des usages potentiels d'eaux usées	71
VII.5.3.2-Approvisionnements alternatifs en eau douce	71
VII.5.3.3. Enquête auprès des usagers potentiels d'eau usée	73
VII.5.3.4. Information des usagers potentiels	72
VII.6.Etude des scénarii	72
VII.6.1. Etude technique	72
VII.6.2. Etude des coûts	72
VII.6.3. Etude d'impact	72
VII.6.4. Analyse économique	73
Références bibliographiques	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Caractéristique des eaux usées urbaines	07
Tableau 2 : Charges de DBO₅ et de MES	08
Tableau 3: Normes de rejets appliquées en Algérie	08
Tableau 4 : Quelques ratios indicateurs de performance : limites de variation et signification.	09
Tableau 5 : Types de grilles en fonction de l'espacement entre les barreaux	11
Tableau 6 : Coefficient de forme de barreaux	14
Tableau 7 : Avantages et Inconvénients	16
Tableau 8 : Valeurs nécessaires au dimensionnement d'un dessableur	18
Tableau 9 : Variation de la vitesse de chute des particules en réseau unitaire	22
Tableau 10: Caractéristiques des différents paramètres de dimensionnement des stations d'épuration par boues activées suivant la charge : ROQUES	33
Tableau 11 Valeur de a' et b'	35
Tableau 12 Formule production de boue	39
Tableau 13 : Le dimensionnement des disques biologiques	40
Tableau 14 : DBO₅ et charge hydraulique pour une faible et forte charge	42
Tableau 15 : Valeur de coefficient K	43
Tableau 16 : Avantages et inconvénients des filières intensives	44
Tableau 17 : Constituants des eaux usées	46
Tableau 18: grille d'évaluation des facteurs de réussite de la REUE en Algérie. (ONA, 2014).	49
Tableau 19: Modes de traitement recommandés en fonction du type de réutilisation	51
Tableau 20 : Facteur affectant le choix de la méthode d'irrigation	54
Tableau 21: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation	59
Tableau 22 : Normes OMS	60
Tableau 23 : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture	62
Tableau 24 : Mesures de contrôle	64
Tableau 25: Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Grille courbe	12
Figure 2 : Grille droite	12
Figure 3 : Dessableur couloir	15
Figure 4 : dessableur déshuileur	16
Figure 5 : ouvrage de dessablage déshuilage combinés	17
Figure 6 : Schéma explicatif d'évacuation des huiles et du sable	17
Figure 7 : Matières décantables	20
Figure 8: Décanteur primaire cylindro-conique	23
Figure 9 : décanteur circulaire à raclage mécanique des boues	24
Figure 10 : Evolution de la DBO et de la biomasse bactérienne	27
Figure 11: Fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées	30
Figure 12 : Mélange piston	31
Figure 13 : Disques biologiques	39
Figure 14 : Schéma d'un lit bactérien (filère classique)	41
Figure 15 : garnissage en plastique du lit bactérien	42
Figure 16 : Alimentation du lit bactérien garnissage minéral	42
Figure 17: Nombre de stations d'épuration en Algérie.	48
Figure 18: Evolution des taux des EUE en Algérie (HM3/an).	48
Figure 19: Rejets des EUE (HM3/an) par milieu récepteur.	49
Figure 20 : Critères globaux et procédure méthodologique de sélection des filières de réutilisation	52
Figure 21 : Irrigation à la planche	54
Figure 22 : Irrigation à la raie	55
Figure 23 : Irrigation par aspersion	55

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

I.1 Définition des eaux usées

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et selon leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs. L'élimination de ces éléments toxiques exige de concevoir une chaîne de traitement. Toute fois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, qualitativement et quantitativement.

Les eaux résiduaires et industrielles, séparées ou mélangées contiennent de nombreuses substances avec des titres différents qui peuvent constituer des dangers de diverses natures pour leur utilisateur et les milieux récepteurs. L'élimination de tous ou une partie de ces éléments constitutifs des eaux résiduaires est imposée par l'élimination des risques de nuisance associés à l'évacuation de ces éléments vers le milieu récepteur.

I.2 Objectifs de l'épuration

- ☐ Préservation de la qualité des eaux de nappes et cours d'eau
- ☐ Eviter les risques de santé publique
- ☐ La recharge des nappes souterraines telles qu'en Grande Bretagne et en Israël, ou 20% des eaux usées sont infiltrées pour l'alimentation des eaux souterraines,
- ☐ L'utilisation comme eau de refroidissement industrielle, on cite l'usage de 4000m³ par jour des eaux traitées en Australie.
- ☐ L'irrigation des différentes cultures agricoles.

I.3 Conséquences de la pollution des eaux sur la faune et la flore

La pollution de l'eau qui celle-ci soit courante, stagnante, souterraine ou marine, est un danger car elle évoque la destruction de la faune et la flore.

I.3.1 Conséquences de la pollution des eaux sur la santé

La pollution de l'eau cause de nombreuses maladies chez l'homme

Pathologies infectieuses

- ☐ Diarrhée: 2ème cause de mortalité infantile
- ☐ Typhoïde et choléra toujours d'actualité
- ☐ Gastro-entérite aiguë avec complications (dyspepsie, arthrite
- ☐ Ulcère ou cancer gastrique

Pollution chimique

- ☐ Pesticides : cancers
- ☐ Résidus des médicaments (perturbateurs endocriniens): cancers, effets sur la reproduction.

I.3.2 Conséquences de la pollution des eaux sur la faune

Un grand nombre d'espèces animales sont menacées par la pollution des eaux (oiseaux, reptiles, poissons,.....). Il a été constaté une féminisation des espèces par le déversement des eaux contaminées par les résidus pharmaceutiques.

I.3.3 Conséquences sur la flore

- ☐ Diminution de la biodiversité végétale (empoisonnement des espèces végétales)
- ☐ L'eutrophisation est un accroissement excessif en substances nutritives essentiellement l'azote et le phosphore qui se manifeste par un développement considérable d'algues microscopiques. Ce phénomène cause la détérioration de la qualité des eaux des retenues de barrages utilisées pour alimenter les stations de traitement de potabilisation.

I.4. Origine des eaux usées

Les eaux usées proviennent de trois sources principales :

- Eaux usées domestiques ;
- Eaux industrielles ;

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

- Eaux de ruissellement ;

I.4.1. Eaux usées domestiques

Elles sont constituées des eaux vannes provenant des toilettes et des eaux ménagères issues des cuisines, des bains et de la lessive. Les eaux vannes véhiculent les matières fécales et l'urine. Les eaux des cuisines sont riches en corps gras et détergents mais ne présentent pas (ou peu) de bactéries hors les eaux d'épluchage. Les eaux usées domestiques sont jugées dangereuses en raison de leur forte teneur en germes et de leurs propriétés infectieuses. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique.

I.4.2. Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont celles qui proviennent des diverses usines de fabrication ou de transformation. Elles peuvent contenir des substances organiques ou minérales corrosives. Les substances sont souvent odorantes, et colorées, et parfois toxiques et peuvent rompre l'équilibre écologique des milieux récepteurs. Les eaux évacuées par les industries sont :

- Les eaux de fabrication qui dépendent de la nature de l'industrie ;
- Les eaux de lavage des machines ;
- Les eaux de refroidissement qui dépendent du taux de recyclage.

Les usages industriels ont le choix entre trois possibilités :

- Soit déverser leurs effluents directement dans le réseau d'égouts si l'autorisation leur est donnée par la commune ;
- Soit traiter entièrement leurs effluents avant de les rejeter directement dans le milieu naturel récepteur ;
- Soit effectuer un prétraitement en usine avant le rejet dans le réseau d'égouts.

Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont :

- Les métaux toxiques,
- Les matières colorées,
- Les huiles et graisses,
- Les sels,
- La pollution organique.

I.4.3. Eaux de ruissellement

Ces eaux proviennent des eaux de pluie, des eaux de lavages des routes et des eaux de drainage. Elles peuvent contenir des sables, des limons, des argiles, des hydrocarbures, des huiles et des fertilisants agricoles.

I.4.4. Eaux usées agricoles

Les eaux agricoles proviennent essentiellement des fermes ou cultures.

L'agriculture dépend de plus en plus des engrais qui améliorent la productivité. Ces engrais polluent l'eau par des pesticides et des nitrates :

- ☐ Les pesticides mettent en danger l'homme par leur toxicité.
- ☐ Les nitrates provoquent l'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération intense des algues.

Les eaux usées agricoles atteignent les cours d'eau par ruissellement de surface ou par l'écoulement souterrain. Par conséquent, les différents polluants d'origine agricole ne peuvent donc pas être recueillis et traités ultérieurement dans une station d'épuration.

I.5. Collecte des eaux usées

Les principaux systèmes de collecte utilisés en assainissement sont :

- Le système unitaire qui reçoit dans les mêmes canalisations les eaux usées et les eaux pluviales,

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

- Le système séparatif comportant deux réseaux de canalisation différents, l'un pour les eaux pluviales et l'autre pour les eaux usées ;
- Le système pseudo-séparatif, actuellement peu préconisé dans la conception d'un nouvel équipement, est un système dans lequel, on divise les apports des eaux pluviales en deux parties.

I.6. Nature de la pollution

La pollution est toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe l'équilibre de cette eau, induit d'importantes nuisances (mauvaise odeur, fermentations, inconforts divers, risques sanitaires) et qui se répercute, à court ou à long terme, sur notre organisme à travers, la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons.

I.6.1. Pollution organique

La pollution organique constitue la partie la plus importante, et comprend essentiellement des composés biodégradables. Ces composés sont de diverses origines :

- Origine urbaine

- **LES PROTIDES (LES PROTEINES)** : qui représentent tous les organismes vivants de nature protéique tel que les animaux, les plantes, les bactéries et même les virus. Ces protéines subissent une décomposition chimique au contact de l'eau (hydrolyse) en donnant des acides aminés.
- **LES LIPIDES (CORPS GRAS)** : ce sont des éléments rejetés généralement par les eaux domestiques telles que les graisses animales, et les huiles végétales. Leur décomposition en milieu aérobie se traduit par une libération de CO₂ et H₂O et en anaérobiose, de CO₂ et CH₄ ;
- **LES GLUCIDES** : il s'agit des sucres alimentaires (saccharose), et de glucose.

- Origine industrielle

Ce sont parfois des produits organiques toxiques tels que les phénols, les aldéhydes, des composés azotés, des pesticides, des hydrocarbures, on encore des détergents.

I.6.2. Pollution minérale

Il s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tels que les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le plomb, le mercure, le chrome, le cuivre, le zinc et le chlore. Ces substances peuvent causer des problèmes sur l'organisme de l'individu, perturber l'activité bactérienne en station d'épuration, affecter sérieusement les cultures (physiologique et rendement).

I.6.3. Pollution microbiologique

Les eaux usées sont des milieux favorables au développement d'un très grand nombre d'organismes vivants, dont des germes pathogènes souvent fécaux.

On les trouve dans les effluents hospitaliers, de lavage de linges et de matériels souillés, ou encore dans le déversement de nombreuses industries agro-alimentaires (abattoirs, élevage agricoles,.....).

1. Bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires et procaryotes (une seule cellule sans noyau), de tailles de 0.5 à 15 µm, de formes sphériques ou cylindriques

Classification des bactéries selon leur affinité avec l'oxygène

On distingue :

- ☐ Les bactéries anaérobies strictes
- ☐ Les bactéries aérobies strictes

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

☐ Les bactéries facultatives : survivent avec ou sans oxygène dissous (condition d'anoxie)

2. Les virus

☐ Les virus sont des agents pathogènes extrêmement petits et qui ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule vivante.

☐ Leur concentration dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre.

☐ Certains entérovirus peuvent être à l'origine de maladies graves comme la poliomyélite ou l'hépatite virale.

3. Les protozoaires

Ce sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites

4. Les helminthes

☐ Plat helminthes : (ou vers plats)

☐ Nématelminthes : (ou nématodes, ou vers ronds)

5. Les champignons

Ce sont des organismes pluricellulaires ; certains sont pathogènes

I.6.4. Pollution toxique (Les Micropolluants)

On appelle micropolluant, une substance détectable dans l'environnement en très faibles concentrations ($\mu\text{g/l}$ ou ng/l) et qui peut engendrer des effets négatifs sur les organismes vivants à ces très faibles concentrations.

On distingue deux types :

☐ **Micropolluants inorganiques** : métaux

La présence de métaux dans le ruissellement de chaussée provient principalement du trafic automobile (usure des pneus, garniture des freins) et de l'abrasion des routes.

☐ **Micropolluants organiques**: principalement des substances produites par l'industrie chimique.

I.7. Principaux paramètres de pollution

I.7.1. paramètres physiques

a. Température

La température est un paramètre dont le contrôle est indispensable surtout en présence d'effluents industriels. C'est un paramètre important pour le bon fonctionnement des systèmes d'épuration dans la mesure où il peut influencer de différentes manières sur:

- la solubilité des sels et des gaz. Il est établi que la solubilité d'un gaz diminue avec l'augmentation de la température. Ce phénomène est particulièrement important dans le cas de l'oxygène dissous. Aussi, plus l'eau est chaude, plus la concentration de saturation de l'oxygène devra diminuer, ce qui conduit à la diminution de la réserve d'oxygène mis à la disposition des micro-organismes intervenants dans les processus d'auto-épuration, la multiplication des micro-organismes, affectant ainsi l'épuration biologique

b. Conductivité

Elle donne une idée sur la salinité de l'eau. Des variations de cette dernière peuvent influencer le traitement biologique et la décantation.

c. Matières en suspension (MES)

C'est la fraction non dissoute de la pollution. Les arrêtés ministériels de 1994 et 1995 relatifs aux conditions de détermination de la qualité minimale d'un rejet d'effluents urbains précisent : « Les matières en suspension, et particulièrement la fraction décantable de celles-ci, peuvent constituer, à l'aval du rejet, des dépôts qui empêchent la vie d'une faune et d'une flore benthiques normales et qui dégradent la qualité de

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

l'eau sous-jacente par le produit des fermentations. Les MES contribuent aussi à déséquilibrer le milieu aquatique en accroissant la turbidité et peuvent avoir un effet néfaste direct sur l'appareil respiratoire des poissons. »

Il existe deux méthodes normalisées d'analyse des MES :

- la méthode par filtration sur filtre en fibres de verre
- la méthode par centrifugation.

d. Matières volatiles sèches (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ pendant deux heures d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70-80 % des MES.

e. Matières minérales (MM)

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination à $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ et correspondent à la présence de sels, silice, poussières.... etc.

f. Couleur et l'odeur

Dans les eaux usées brutes la couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdes par des composés chimiques solubles qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques.

g. Turbidité

Elle tient compte de la présence plus ou moins importante des matières en suspension d'origine minérale ou organique

1.7.2. Paramètres chimiques

a. PH (potentiel hydrogène)

Le pH joue un rôle capital dans le traitement biologique. Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées. Ce paramètre joue un rôle primordial :

- dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;
- dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situant entre 6,5 et 8,5.

b. Demande biochimique en oxygène sur cinq jours DBO₅

La demande biochimique en oxygène (DBO), exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité des matières organiques biodégradables présente dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommé au bout de cinq jours. Les transformations des matières organiques s'effectuent en deux stades :

- le 1^{er} stade, se rapportant aux composés carbonés, débute immédiatement et s'achève au bout de 20 jours environ,
- le 2^{ème} stade, se rapportant aux composés azotés, ne commence qu'au bout d'une dizaine de jours et s'étend sur une période très longue.

c. Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder par voie chimique ces matières. Elle est exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle est moins représentative que la DBO de la décomposition des matières organiques qui a lieu dans le milieu naturel mais elle est rapide, et contrairement à cette dernière, possède une bonne reproductibilité. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel.

d. Coefficient de la biodégradabilité DCO/DBO₅

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

Le rapport DCO/DBO₅ donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactéries, champignons...)
Le rapport entre ces deux paramètres peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent. La circulaire déjà citée rappelle : « La DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables. La dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous. »

e. Eléments toxiques

La présence des métaux lourds (plomb, mercure, ...) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usée peut la rendre toxique, ils sont évalués par les tests biologiques.

f. Nutriments (azote, phosphore)

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels minéraux (ortho et poly phosphates) provenant surtout des poudres à lessives, et sous forme organique provenant des matières fécales.

- L'**azote** peut se trouver sous forme minérale (ammoniacal, nitrate) ou organique. La présence d'azote organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et par une entrave à la vie des poissons.
- Le **phosphore** peut également se trouver sous forme minérale (en provenance des lessives ou des rejets industriels) ou organique. Élément indispensable à la vie des algues, la présence de phosphore entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau ou du lac, c'est-à-dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale.

On mesure également la quantité de **germes** et de **virus**, les teneurs en **graisses**, **détergents** et **métaux lourds**. Chacun de ces paramètres représente une nuisance potentielle. Pour une meilleure adaptation du traitement, les paramètres globaux s'avèrent insuffisants et l'utilisation de modèles mathématiques pour simuler les processus d'épuration exige une meilleure connaissance des différentes fractions constituant la pollution à traiter :

- la fraction décantable, qui correspond à la pollution particulière et qui pourra être enlevée par un simple traitement physique, telle la décantation ;
- la fraction colloïdale, qui correspond à la pollution pouvant flocculer par ajout de réactif et être enlevée par traitement physique ;
- la fraction soluble, qui correspond à la pollution qui sera éliminée spécifiquement par voie biologique. Une partie de cette pollution soluble n'est pas biodégradable, elle correspond à des molécules complexes (certains détergents et pesticides) et se retrouvera dans l'effluent final. Pour déterminer la part de ces différentes fractions, des analyses complémentaires sont nécessaires :
- MES, DCO, DBO₅ après décantation 2 h (ad2) dans un bécher ;
- DCO, DBO₅ solubles, après filtration.

La part de pollution non biodégradable peut être déterminée par une mesure dite de « DCO dure » qui consiste en la mesure de la DCO soluble de l'eau à analyser après son aération pendant 15 à 20 j.

Le tableau I.1 ci-après montre les principaux paramètres de pollution d'une eau usée brute, les valeurs sont données à titre indicatif pour fixer les ordres de grandeur.

Tableau I.1 : Caractéristique des eaux usées urbaines

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

Paramètres	Echelles de variation
pH	7,5 à 8,5
MES total mg/ l	150 à 500
DBO5 mg/ l	100 à 400
DCO mg/ l	300 à 1000
DOT mg/ l	100 à 300
NTK mg/ l	30 à 100
N-NH4+ mg/ l	20 à 80
N-N02- mg/ l	<1
N-N03- mg/ l	<1
Détergents mg/ l	6 à 13
P mg/ l	10 à 25

I.7.3. Eléments toxiques

La présence des métaux lourds (plomb, mercure...etc.) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usée peut la rendre toxique, ils sont évalués par les tests biologiques.

I.7.4. Paramètres biologiques

Les germes pathogènes

- ☐ Coliformes fécaux; Coliformes totaux ; 7,7.105 à 2.108/100 ml
- ☐ Streptocoques fécaux ,4.105 à 1,1.106/100 ml

I.8. Conséquences sur le milieu récepteur

Le rejet des eaux usées brutes perturbe l'équilibre du milieu récepteur, la quantité de pollution rejetée est devenu incompatible avec les capacités d'autoépuration des cours d'eau et provoque des conséquences néfastes telle que :

- La dégradation du milieu naturel ;
- La pollution des mers, des lacs et des cours d'eau ;
- Le risque de contamination des eaux souterraines.

I.9. Estimation des rejets d'eaux usées

I.9.1 Notion d'équivalent habitant

La notion d'équivalent habitant est utilisée pour quantifier la pollution émise par une agglomération à partir de la population qui y réside et des autres activités non domestiques. Selon la définition de la directive européenne du 21 mai 1991 "relative au traitement des eaux urbaines résiduaires", un équivalent-habitant représente une DBO5 de 60 g d'oxygène par jour, 80 g de MES, 15 g de matières azotées, 4g de matières phosphorées et 150 à 250 l d'eau.

I.9.2 Charges polluantes

La pollution d'une eau usée urbaine est estimée en fonction de son débit, de sa concentration en matières en suspension, et de sa demande biochimique en oxygène.

La mesure de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) permet d'en évaluer la pollution d'origine industrielle.

La charge polluante d'une eau usée est donc donnée par le produit du débit d'eau à traiter et de la concentration des matières polluantes

Charge (Kg/j) = débit (m3/jour) * concentration (Kg/m3)

I.9.3 Charges en DBO5

La charge en DBO5 apportée par les eaux brutes est exprimée par jour et par habitant suivant le type de réseau :

Tableau 2 : Charges de DBO5 et de MES

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

	Réseau séparatif (g / Eq-hab. /j.	Réseau unitaire (g / Eq-hab. /j.)	Réseau pseudo séparatif (g / Eq-hab. /j.)
Charges en DBO5	54	70	60
Charges en MES	70	70 à 90	80

I.10. Composition moyenne des eaux résiduaires urbaines

Les concentrations moyennes dans les ERU sont les suivantes :

- 150 à 500 mg/l de MES ; 300 à 1000 mg/l de DCO ; 100 à 400 mg/l de DBO5
- 30 à 100 mg/l d'azote Kjeldahl (azote organique et ammoniacal)
- 10 à 25 mg/ de phosphore total (phosphore organique et phosphate)

I.11. Normes de rejet

La qualité des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel doit répondre aux normes citées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: Normes de rejets appliquées en Algérie

Paramètres	Unités	Normes
T°	°C	30
pH	/	6,5-8,5
[O2]	mg/l	05
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	90 à 120
MES	mg/l	30
Zinc	mg/l	02
Chrome	mg/l	0,1
Azote total	mg/l	50
Phosphates	mg/l	02
Détergents	mg/l	01
Hydrocarbures	mg/l	10
Huiles et graisses	mg/l	20

I.12. Indicateurs de performances

Les indicateurs permettent aux responsables de la station d'épuration de suivre l'évolution de la qualité des eaux, de détecter les dysfonctionnements et d'y remédier. Le tableau suivant donne quelques indicateurs de performances, la limite de variation pour un effluent urbain ainsi que la signification et l'intérêt du ratio.

Tableau 4 : Quelques ratios indicateurs de performance : limites de variation et signification.

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

Ratio	Effluent urbain strict	Signification
DCO/DBO5	2,2 -2,5	Evaluation de la biodégradabilité de la matière organique : DCO/DBO5<2 : facilement biodégradable (effluent agro-alimentaire)
DBO5 / N-NH4+ /P-PO4²⁻ (C/N/P)	(100/5/1)	Exprime l'équilibre nutritionnel :
MES/DBO5	0.69 et 2.93	Indiquera la nature de la pollution Influencera la production de boues.
MVS/MES	0.65-0.75	Indiquera l'organicité de l'effluent et les possibilités de son traitement
DCO/PT	44-50	DCO/PT indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore.
NH4+/NTK	0.6-0.8	Indiquera le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le réseau
DCO/NTK	4-5	Influencera le taux d'abattement de l'azote.
DBO5/N à dénitrifier	DBO5/N > 2	Indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de dénitrification.
Production des boues primaires /production des boues primaires théoriques	0,8	Efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire
Polymère/MS (extraites)	Permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère. Boues primaire : Polymère /MS = [3-5] Boues mixtes (50/50) : Polymère /MS = [6-8] Boues biologiques : Polymère /MS = [8-12]	

Rapport MES/DBO5

Le rapport MES/DBO5 indique la répartition de la pollution particulaire représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la(DBO5). L'augmentation de ce ration montre que la pollution admise à la station est plutôt granulaire que dissoute, ce qui caractérise un réseau essentiellement unitaire.

Des valeurs élevées de ce rapport sont généralement dues à l'augmentation du flux des MES rejetés par temps de pluie dans les milieux récepteurs à cause de la remise en suspension des dépôts accumulés dans le collecteur

Rapport MVS/MES

CHAPITRE I : PARAMETRES DE POLLUTION DES EUX USEES ET NORMES DE REJET

Ce rapport représente la proportion de la matière volatile en suspension par rapport à la matière en suspension, Ce facteur aura une incidence importante sur la production de boues biologiques en excès,

Ratio NT/ DBO5

Une dénitrification efficace suppose une certaine proportion en composés carbonés facilement biodégradables. Dans les eaux usées urbaines le rapport N/DBO5 est de 0,2 à 0,5, ce rapport estime aussi la cinétique de dénitrification. S'il descend en-deçà, le processus de dénitrification ne s'effectue pas complètement, ce qui se traduit par des valeurs accrues en termes de nitrates.

Ratio N-NH4/NT

L'azote des effluents à traiter arrive dans le réseau principalement sous forme organique. Son transit dans le réseau modifie les proportions en faveur de la forme ammoniacale selon le temps de séjour et la température. Ce degré d'ammonification est donné par le ratio NH_4^+/NT .

Plus la valeur de ce ration est élevée, plus l'azote organique est transformé en azote ammoniacal soluble qui est la forme d'azote la plus utilisée par les bactéries épuratrices.

Ratio DCO/PT

Le rapport DCO/PT indique la possibilité d'un traitement biologique du phosphore.

En effet, un rapport faible indique une mauvaise déphosphatation pouvant être reliée à une quantité de DCO facilement biodégradable (AGV) moins importante.

Pae contre, le rapport DCO/PT très élevé (dans la plus part des cas supérieurs à 44) indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore, sans avoir recours au traitement physico-chimique, ce qui traduit un réel gain en produits chimiques.

Ratio DCO/NT

Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d'abattement de l'azote global. Plus ce rapport est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée.

Des valeurs élevées perturbent la réaction de nitrification. Les bactéries hétérotrophes peuvent entrer en compétition pour l'azote qu'elles consomment pour leurs besoins anaboliques et limitent le processus de nitrification en réduisant la quantité d'ammoniaque et d'oxygène disponibles pour la nitrification et en limitant localement l'accès à l'ammoniaque pour les bactéries nitrifiantes.

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

Introduction

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un « prétraitement » qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Les pré-traitements ont donc pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements. Il s'agit de :

- ☐ **Dégrillage**
- ☐ **Tamissage**
- ☐ **Dessablage**
- ☐ **Dégraissage – déshuilage**

II.1. Dégrillage

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses (chiffons, morceau de bois, plastique, feuilles, bouteilles ...) , afin de réduire les risques de colmatage des conduites et l'abrasion des pompes mises en place dans la station d'épuration. Ces éléments sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères.

Selon la taille de la collectivité, l'évacuation des refus des grilles peut être:

☐ Automatisée (ce qui est préférable); nécessite un entretien moins fréquent mais toujours régulier qui consiste à l'enlèvement des déchets et à un contrôle de fonctionnement (fréquence estimée à une fois par mois)

☐ Manuelle: réservé aux très petites collectivités ou au canal de by-pass d'un système automatisé. Nécessite un entretien (enlèvement des détritiques) fréquent et régulier

L'efficacité d'un dégrillage dépend de l'espacement entre les barreaux. Le tableau ci-dessous donne le choix des grilles en fonction de l'écartement entre les barreaux.

Tableau 5 : Types de grilles en fonction de l'espacement entre les barreaux

Type de grilles	Espacement entre les barreaux (cm)
Dégrillage grossier	3 à 10
Dégrillage moyen	1 à 2,5
Dégrillage fin	0,3 à 1

Ces grilles peuvent être manuelles ou mécaniques :

☐ Les grilles manuelles sont des grilles composées de barreaux généralement inclinés sur l'horizontal de 60 à 80 degrés. Ces grilles sont destinées à des petites collectivités et nécessitent un nettoyage manuel régulier par l'intermédiaire d'un râteau.

☐ Les grilles mécaniques, quant à elles, fonctionnent par l'intermédiaire d'un nettoyage automatique pouvant être réalisé à l'amont comme à l'aval.

1) Les grilles mécaniques à nettoyage par l'amont :

Le mécanisme de nettoyage se trouve placé à l'amont du champ de grille. On distingue :

-les grilles courbes

Elles sont adaptées pour les petites et moyennes stations d'épuration de profondeur de canal relativement réduite variant de 0,50 m à 1,80 m.

Le débit à traiter varie de 10 à 5000 m³/h. L'angle d'inclinaison est de 26,5 °.

Le nettoyage est assuré par des peignes

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)



Figure 1 : Grille courbe

-les grilles droites,

Elles sont fortement relevées sur l'horizontale et peuvent être même verticales,

Elles sont utilisées pour une gamme de débits de 100 à 40 000 m³/h.

Le nettoyage est effectué par un dispositif alternatif ou continu (grappins, râteliers, racleurs, brosses),

Le système de nettoyage est commandé par crémaillère, par câble ou par chaîne sans fin.



Figure 2 : Grille droite

Les grilles peuvent être verticales, mais elles sont le plus souvent inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale.

Remarque

Plus communément, l'espacement des barreaux est de 2,0 à 2,5 cm pour un dégrilleur mécanique et 3 à 4 cm pour un dégrilleur manuel.

L'efficacité du dégrillage dépend de 2 facteurs :

- la vitesse de passage de l'eau dans l'ouvrage doit être supérieure à 0,5 m/s sans dépasser 1,4 m/s au débit de pointe pour obtenir l'application des matières sur la grille sans pour autant provoquer une perte de charge trop importante, ni entraîner un colmatage en profondeur des barreaux ou un départ des matières avec l'effluent.

- la fréquence d'entretien : Il faut prévoir une capacité de stockage de 48 heures minimum à l'abri des rats, insectes (poncte).

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

Matières retenues : elles sont fonction de l'écartement entre les barreaux. Elles sont estimées par la relation suivante : $U(L/\text{eq-hab. an}) = 12 \text{ à } 15/L$ L: espacement entre les barreaux en cm

Selon la nature des produits recueillis, le nettoyage peut être effectué :

- ☐ Par des grappins (produits grossiers).
- ☐ Par des râpeaux ou des peignes.
- ☐ Par des brosses dures (dégrillage fin, eaux peu chargées).

La quantité de déchets à évacuer dépend du type de réseau, mais aussi de l'écartement des barreaux de la grille : plus les barreaux sont resserrés, plus la quantité de déchets retenus est importante, et plus le nettoyage doit être fréquent.

Dimensionnement d'un dégrilleur

Pour le calcul de la grille, on utilise la méthode de KIRSCHMER.

La largeur de la grille est donnée par l'expression :

$$L = \frac{S \sin \alpha}{h_{\max}(1 - \beta)\sigma}$$

L : Largeur de la grille (m).

α : Angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontal = 60° à 80°

h_{\max} : Hauteur maximum admissible sur une grille (m).

β : Fraction de surface occupée par les barreaux.

σ : Coefficient de colmatage de la grille

Pour une grille manuelle $\sigma = 0.10 \text{ à } 0.3$

Pour une grille mécanique $\sigma = 0.4 \text{ à } 0.5$

$$\beta = \frac{d}{d + e}$$

Tels que :

e : épaisseur des barreaux (cm).

d : espacement des barreaux (cm)

La surface de la grille est donnée par : $S = \frac{Q}{v}$

Avec Q : débit max et V : la vitesse

La largeur de la grille est donc :

$$L = \frac{Q \sin \alpha}{V \cdot h_{\max}(1 - \beta)\sigma}$$

Calcul des pertes de charges

Les pertes de charges sont exprimées par la relation suivante :

$$\Delta H = \beta' \left(\frac{d}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \sin \alpha$$

ΔH : perte de charge (m).

β' : coefficient dépendant de la forme des barreaux

e : espacement entre les barreaux (cm).

d : épaisseur des barreaux

g : accélération de la pesanteur (m/s²).

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

α : angle d'inclinaison de la grille

V : vitesse d'écoulement dans la grille. (m/s)

Le coefficient dépendant de la forme des barreaux est donné dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Coefficient de forme de barreaux

Type de barreau	B'
Section rectangulaire	2.42
Section rectangulaire en semi circulaire à l'amont	1.83
Section rectangulaire avec arrondi semi circulaire à l'amont et à l'aval	1.67
Section circulaire	1.79
Section ovoïde avec une grande largeur à l'amont	0.76

II.2.Tamissage

Le tamissage est un dégrillage poussé qui consiste en une filtration sur toile ou tôle perforée mettant en oeuvre des mailles de différentes dimensions.

Selon les dimensions des mailles, on distingue :

a-Macro-tamissage

Le macro-tamissage est destiné à retenir les particules supérieures à 200 μm (les matières en suspension flottantes, les débris végétaux, les herbes, insectes.....). La charge de la pollution est ainsi réduite et le traitement biologique est allégé.

b. Micro-tamissage (mailles de 30 à 100 μm)

Le micro tamissage consiste à retenir les particules de très petites dimensions. Toutefois, son application aux prétraitements des eaux résiduaires est très limitée en raison d'un colmatage trop rapide des tamis.

Les différents tamis employés sont :

☐ Tamis rotatifs : dont la vitesse de filtration est de 40 cm/s, avec des pertes de charges de 20cm d'eau, ils doivent être décolmatés en permanences.

☐ Tamis vibrants : forme rectangulaire adaptée aux matières non collantes.

II.3.Dessablage

Le dessablage s'effectue sur des particules de dimensions supérieures à 200 mm. La vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre). On calcule la section du dessableur de manière que la vitesse de l'eau ne descende pas au-dessous de 0,30 à 0,20 m/s ; on évite ainsi que les matières organiques se déposent en même temps que les sables.

Le dessableur est donc placé à la suite du dégrilleur, son but est de retirer par sédimentation les sables et graviers des eaux usées à traiter. En effet, l'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans le dessableur entraîne le dépôt de ces matières 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.

Le dessablage a pour objectif donc :

- ☐ D'éviter les dépôts dans les canalisations induisant leur bouchage.
- ☐ De limiter la réduction du volume utile des ouvrages ultérieurs
- ☐ De protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion et l'usure.
- ☐ D'éviter de perturber les autres stades de traitements, en particulier le réacteur biologique.

Les MES contiennent 30% de MM (matières minérales) et 70% de MVS (matières volatiles en suspension). Le dimensionnement des dessableurs équipant les

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

stations d'épuration doit permettre de retenir 70% à 80 % **des matières minérales**. Les sables extraits contiennent encore une proportion élevée de matières organiques (pouvant atteindre 50 % de MVS) liées à leur adsorption sur les matières minérales avant leur décantation. Ce taux peut-être diminué à 30 %, voire moins, par un lavage poussé.

Le sable séparé contient malgré tout des matières organiques et plusieurs dispositifs sont appliqués pour améliorer sa qualité : lavage par hydrocyclone, extraction des fosses de stockage par des moyens mécaniques qui font, en même temps, office de laveur de sable (vis d'Archimède en auge inclinée, classification à mouvement alternatif...). Le volume de sable extrait par habitant et par an est de l'ordre de 5 à 12 dm³.

II.3.1 Différents types de dessableurs

On distingue les types de dessableurs suivants

□ **Les dessableurs couloirs** : La vitesse à l'intérieur de ces ouvrages varie selon le débit. Ces ouvrages canaux (ou couloirs) simples sont les plus élémentaires. L'installation de deux canaux en parallèle permet la mise en service du deuxième canal lorsqu'on extrait les sables du premier.



Figure 3 : Dessableur couloir

□ **Les dessableurs circulaires**, à alimentation tangentielle à brassage mécanique ou à insufflation d'air (pour éviter les dépôts de matières organiques, en heures creuses, avec faible débit).

□ **Les dessableurs rectangulaires à insufflation d'air** : On insuffle de l'air qui provoque une rotation de liquide et crée ainsi une vitesse constante de balayage du fond, perpendiculaire à la vitesse du transit. Le sable est extrait soit mécaniquement par raclage vers un poste de réception, puis repris par pompage, soit directement par pompe suceuse montée sur pont roulant.

Remarque

L'insufflation d'air dans le dessableur permet de maintenir la matière organique en suspension afin d'éviter son dépôt au fond de l'ouvrage et sa fermentation qui peut générer un dégagement de mauvaises odeurs.

Des ouvrages combinant les fonctions dessableur-dégraisseur sont largement utilisés dans les stations d'épuration. Dans ce cas, le dessablage est réalisé dans la partie inférieure (conique) du bassin. La pente ne doit pas être inférieure à 50°. Aussi, le débit d'air injecté, augmente la vitesse de montée des particules grasses qui sont récupérées par raclage de surface dans la zone de tranquillisation du bassin dessableur-déshuileur. Le débit d'air insufflé est de l'ordre de 0,2 m³ par mètre cube d'eau et par heure.

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

Le remplacement du dégraisseur-dessableur par des tamis peut être envisagé dans les cas de réseau apportant peu de sables (réseau séparatif) et peu de graisses.



Figure 4 : dessableur déshuileur

II.3.2 Avantages et inconvénients des différents dessableurs

Tableau 7 : Avantages et Inconvénients des dessableurs

Ouvrages équipements	avantages	inconvénients
Dessableurs Dessableurs couloirs	simple	Performances très limitées à proscrire
Dessableurs rectangulaires	Simple, éprouvé. Possibilité de grouper les ouvrages. Maintien des MES et séparation des matières flottantes qui peuvent être récupérées.	Consommation d'air Entrainement du sable si le débit d'air est important
Dessableurs circulaire A brassage mécanique	Simple, éprouvé Fonctionnement peu sensible aux variations de débits Pertes de charge faibles Lavage du sable à l'aide d'eau et d'air Peu d'odeur	Profondeur Intégration dans le site (forme circulaire prend plus de place) Génie civil plus compliqué
A brassage d'air	Maintien des conditions de turbulence minimale pour éviter des dépôts de MO. Possibilité de récupérer des matières flottantes. Pas d'odeur	Consommation d'air Intégration dans le site (forme circulaire prend plus de place) Génie civil plus compliqué

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

II.4.Dégraissage-déshuilage

Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Cette étape permet d'assurer un bon traitement en aval en limitant le colmatage des appareils et en évitant l'inhibition des processus biologiques. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras qui sont raclés à la surface, puis stockés avant d'être éliminés (mise en décharge ou incinération). Les graisses peuvent aussi faire l'objet d'un traitement biologique spécifique au sein de la station d'épuration.

La teneur des eaux usées en matières extractibles est de l'ordre de 30 à 75 mg/L. Néanmoins, certains rejets industriels (abattoirs, laiteries...) peuvent élever ces valeurs à 300-350 mg/L. Les huiles et graisses, lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, sont séparées sous forme de boues flottantes dans des ouvrages comportant une zone d'aération où les bulles d'air augmentent la vitesse de montée des particules grasses et une zone de tranquillisation où s'effectue la récupération.

Le temps de séjour dans ce type d'ouvrage est de 5 à 12 min. Le débit d'air insufflé est de l'ordre de 0,2 m³ par mètre cube d'eau et par heure.

Le plus souvent, les fonctions de dessablage et de déshuilage sont combinées dans un même ouvrage qui met en œuvre les principes de fonctionnement cités précédemment (figure II.3).

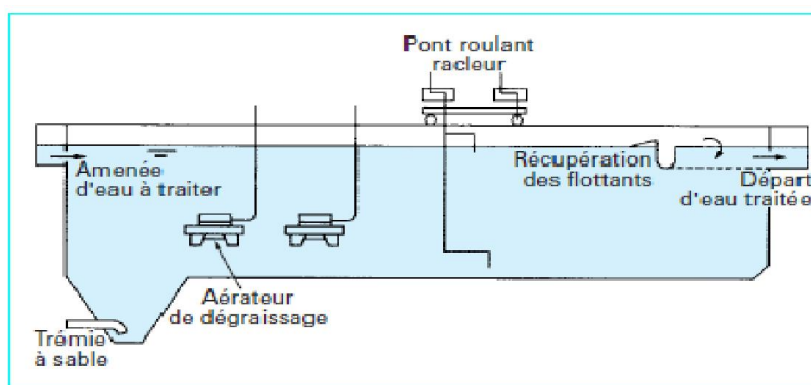


Figure 5 : ouvrage de dessablage déshuilage combinés

Schéma explicatif d'évacuation des huiles et du sable

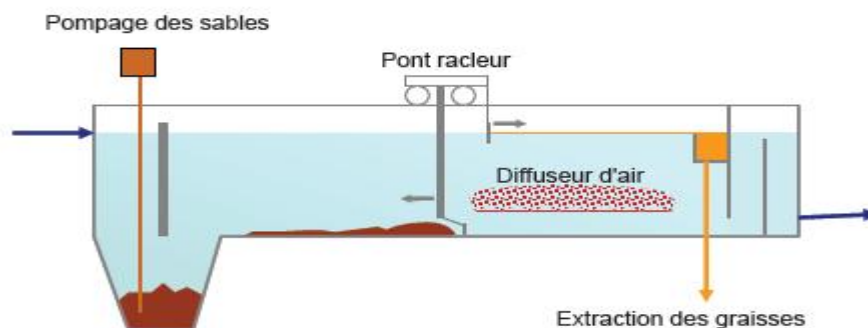


Figure 6 : Schéma explicatif d'évacuation des huiles et du sable

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

Tableau 8 : Valeurs nécessaires au dimensionnement d'un dessableur

Valeurs des paramètres nécessaires au dimensionnement d'un dessableur

Paramètre	Intervalle	Valeur retenue
Charge hydraulique (m ³ /m ² /h)	40-70	50 (m ³ /m ² /h)
Temps de séjour (min)	/	5

La surface du dessableur est déterminée de la manière suivante:

$$S = Q_{\max} / Ch$$

Valeurs des paramètres nécessaires au dimensionnement d'un dégraisseur

Paramètre	Intervalle	Valeur retenue
Vitesse ascensionnelle (m/h)	10-20	15
Temps de séjour (mn)	10-20	20

Nous pouvons alors déterminer la surface S et le volume V du dégraisseur avec les formules suivantes:

$$S = Q_{\max} / V a$$

$$V = Q_{\max} . T S$$

II.4.1. Inconvénients causés par une eau huileuse sont

- ✓ Mauvaise diffusion de l'oxygène nécessaire au développement des bactéries épuratrices (**par adsorption du floc et la création d'une pellicule en surface d'ouvrages**)
- ✓ Mauvaise sédimentation des boues dans le clarificateur
- ✓ Risques de colmatage : Bouchage des pompes et des canalisations par solidification des graisses,
- ✓ Formation de flottants et d'écumes.
- ✓ Les départs avec l'eau traitée
- ✓ Risque de moussage et de développement de bactéries filamenteuses (en constituant un substrat privilégié pour ces micro-organismes)

Un bon dégraissage est assuré par une température inférieure à 30°C. Si la température est supérieure à 30°C, un refroidissement est nécessaire.

II.4.2 Devenir des graisses

Plusieurs filières d'évacuation des graisses existent :

a) Digestion anaérobie

Les graisses (matières organiques fermentescibles) peuvent être stabilisées avec des boues de station dans un digesteur. Si le brassage est déficient, les graisses flottent à la surface des boues. Il y aura formation d'un chapeau de digestion.

b) Incinération

Les graisses peuvent être incinérées seules, avec les boues de la station d'épuration ou avec des ordures ménagères. La combustion de ces composés graisseux provoque des montées en température très importantes dans le four.

c) Traitement biologique aérobie

La majeure partie des concepteurs et exploitant s'orientent vers cette technologie.

Ce traitement est basé sur la dégradation aérobie des graisses par les bactéries.

CHAPITRE II : TRAITEMENT MECANIQUE DES EAUX USEES (PRETRAITEMENT)

La première étape est l'hydrolyse des triglycérides par l'action d'une enzyme : la lipase. Cette dégradation totale produit du glycérol et des acides gras.

Ces acides gras sont ensuite oxydés par l'action d'enzymes en gaz carbonique et en eau.

Ces deux réactions sont réalisées par des microorganismes aérobies.

Cette dégradation se fait dans un bassin muni d'un système d'aération. Pour 1 kg de DCO, il faut fournir 0,7 kg d'oxygène. La concentration en oxygène dissous dans la boue doit être de l'ordre de 3 mg/L. L'effluent amené aux bactéries doit être équilibré en carbone, azote et phosphore dans le ratio 100/5/1. Les graisses sont des composés carencés en azote et phosphore. Il faut donc prévoir un apport de ces éléments par l'eau brute ou par l'ajout de réactifs chimiques (urée, acide phosphorique).

Le rapport de biodégradabilité de l'effluent (DCO/DBO5) est en général compris entre 1,5 et 2.

Dans le réacteur, la réaction d'hydrolyse provoque une diminution du pH jusqu'à une valeur égale à 5. Cependant, la réaction d'oxydation n'a pas lieu en milieu acide. Il faut donc augmenter le pH par l'ajout d'une base, comme la chaux jusqu'à des valeurs comprises entre 6,5 et 7.

CHAPITRE III : TRAITEMENT PRIMAIRE (DECANTATION)

III-1 Définition décantation

La décantation est un procédé de séparation solide-liquide. Elle consiste à l'élimination des particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau.

L'eau usée préalablement dégrillée et dessablée contient encore des matières organiques et minérales décantables : c'est la décantation primaire.

Les matières décantables correspondent aux états suivants :

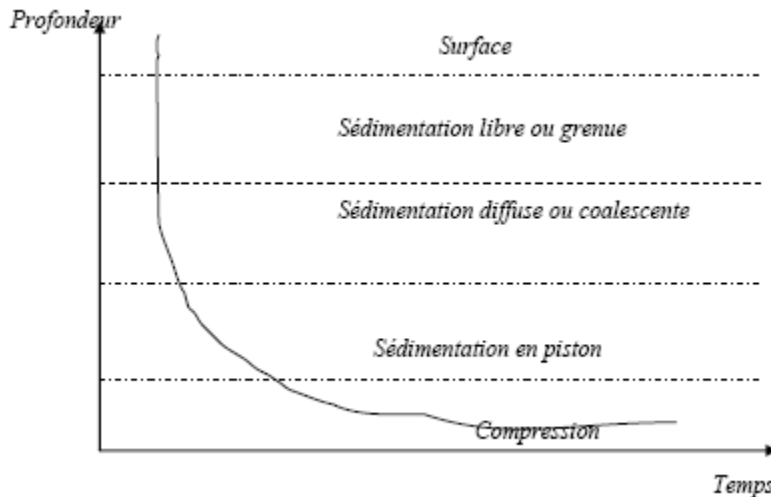


Figure 7 : Matières décantables

a) Sédimentation libre ou grenue

Elle correspond à la décantation des particules grenues indépendantes les unes des autres avec une vitesse de chute constante et qui est indépendante de la concentration en solide. **Ex.** Opération de dessablage.

Ces particules sont capables de conserver leur dimension pendant leur chute

b) Sédimentation diffuse ou coalescente : Décantation de particules floculantes en solutions diluée.

Elle correspond aux particules qui s'agglutinent et floculent au fur et à mesure de leur chute ; les floccs ainsi formés augmentent leur dimension ainsi que leur vitesse par suite de leur rencontre avec d'autres particules (Vitesse de chute augmente avec l'augmentation de la masse). **Ex.** Décantation primaire des épurations des eaux résiduaires

c) Sédimentation en piston ou zonale : Décantation de particules floculantes en solution concentrée (ou décantation par zones)

Si la concentration de l'effluent est très élevée, l'abondance des floccs crée une décantation d'ensemble freinée. **Ex.** classification secondaire en épuration des eaux résiduaires.

d) Décantation par zone, pour particules floculantes en solution très concentrée. (Décantation des zones de compression). **Ex.** épaissement des boues.

□ Remarque

Pour une eau usée domestique, la décantation primaire élimine 30 à 35 % de la DBO5 et 60% des MES et permet ainsi la diminution de la consommation d'oxygène dans l'aérateur.

CHAPITRE III : TRAITEMENT PRIMAIRE (DECANTATION)

III. 2. Paramètres de décantation

a) La vitesse de chute

La vitesse de chute dépend de :

- Régime d'écoulement
- Viscosité du milieu
- Forme et dimension des particules

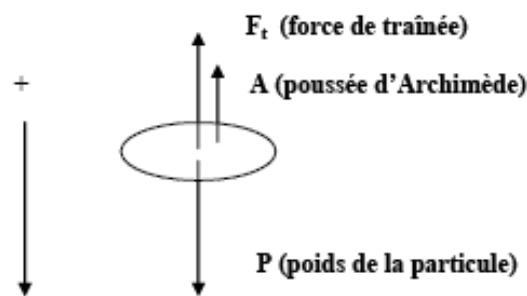
□ Calcul de la vitesse de chute : Cas de la décantation libre

Une particule de masse volumique ρ_p chute avec une vitesse croissante jusqu'à l'équilibre des deux forces (force motrice et force résistante).

La particule, que l'on considérera sphérique, est soumise à :

- **son poids P** - **la poussée d'Archimède A** : c'est une force dirigée vers le haut, qui s'applique sur la particule qui est dans l'eau.

- **la force de traînée Ft**



A l'équilibre : $\Sigma F = 0 \Rightarrow V_c$ (vitesse de chute) est constante

$F_t = P - A = P'$ (poids apparent de la particule) \Leftrightarrow

$$\frac{1}{2} C_d \cdot a_p \cdot \rho_e \cdot V_c^2 = m'g$$

C_d est le rapport entre la force de traînée F_t et le produit de la pression dynamique q par la surface de la particule : $C_d = F_t / a_p \cdot q$ avec $q = \frac{1}{2} V_c^2 \cdot \rho_e$

C_d , coefficient de traînée, est un nombre sans dimension dépendant de Reynolds (Re) :

$$(1) \quad C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

Relation de Newton pour $Re > 10^3$

a_p : section de la particule

ρ_e : masse volumique de l'eau

$P' = m' \cdot g = (\rho_p - \rho_e) \cdot g \cdot V_p$

V_p : volume de la particule

Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimension. Il caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent).

On le définit de la manière suivante : $Re = V_c d / \nu$

Avec : □ V_c - vitesse [m/s]

□ d - diamètre de la particule [m]

□ ν - viscosité cinématique du fluide [m²/s]. Elle représente la capacité de rétention des particules du fluide et quantifie sa capacité à s'épancher.

Avec

$$\nu = \mu / \rho \quad [m^2/s]$$

ρ - masse volumique de l'eau [kg/m³] □

μ - viscosité dynamique du fluide. Il caractérise l'aptitude du fluide à s'écouler et s'exprime par [Pa•s ou kg/m•s ou poiseuille Pl]

CHAPITRE III : TRAITEMENT PRIMAIRE (DECANTATION)

D'où la formulation classique:

$$Re = \rho_e \frac{V_c \cdot d}{\mu} \quad (2)$$

❖ Cas du régime laminaire : $C_d = \frac{24}{Re}$ (loi de STOKES) avec $10^{-4} < Re < 1$

La particule étant considérée sphérique :

$$\text{On a alors } V_p = \frac{4}{3} \cdot \pi d^3 / 8 = \pi d^3 / 6$$

$$\text{La section } a_p = \pi d^2 / 4 \quad \text{d'où} \quad (3) \quad \boxed{\frac{V_p}{a_p} = \frac{2}{3} d}$$

En remplaçant les équations 2 et 3 dans 1, on obtient :

$$\text{Loi de Stokes} \quad V_c = \frac{g}{18\mu} (\rho_p - \rho_e) \cdot d^2$$

Remarque

La vitesse de chute de la particule est proportionnelle à d^2 (diamètre de la particule)

L'utilisation pratique de cette équation n'est pas courante car les particules ne sont pas souvent sphériques et les conditions ne sont pas laminaires.

Régime transitoire : $1 < Re < 10^3$

$$\text{Le coefficient de traînée : } C_d = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$$

$$\text{L'équation de la vitesse de chute devient :} \quad V_c = \frac{0,153 g^{0,71} d^{1,14} (\rho_p - \rho_e)^{0,71}}{\rho_e^{0,29} \mu^{0,43}}$$

Régime turbulent

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad Re > 10^3$$

$$V_c = 1,74 \sqrt{g \cdot d \frac{(\rho_p - \rho_e)}{\rho_e}}$$

Remarque

En pratique, durant la décantation, les particules s'agglomèrent les unes aux autres ; ainsi cette modification des caractéristiques des particules rend la conception des modèles mathématiques beaucoup plus complexe. On procède alors aux essais au laboratoire.

La vitesse de chute est donnée par la relation suivante :

$V_c = Q/S$ Q : débit de l'effluent

S : surface horizontale du décanteur

En réseau unitaire : la vitesse de chute dépend du rapport entre le débit pluvial et le débit moyen horaire.

Tableau 9 : Variation de la vitesse de chute des particules en réseau unitaire

Q_p/Q_m	2,5	3	5	8	10
V_c (m/s)	2	2,5	3,75	5	6

En réseau séparatif : la vitesse de chute est de 2,5 m/s sur le débit de pointe.

b) temps de séjour

Le décanteur doit être calculé de telle façon à éviter la purification des matières sédimentées, c'est pourquoi, les effluents ne doivent pas séjourner dans l'ouvrage pendant plus de 3 heures

En réseau séparatif, le temps de séjour ne doit pas dépasser 1H30 ou 2 H sur le débit moyen diurne et 1 H en débit de pointe.

CHAPITRE III : TRAITEMENT PRIMAIRE (DECANTATION)

III. 3. Décantation primaire

Le décanteur primaire a un rôle de protection du traitement aval (évite le colmatage des ouvrages) mais il joue également un rôle d'épurateur, essentiellement sur les matières en suspension : MES. Il est conçu pour permettre un abattement moyen de :

MES : 60 à 70 %

DBO5 et DCO: 30 à 35 %

Il traite très peu de pollution sur l'Azote et le Phosphore (azote global : NGL et phosphore total: Pt < 10%).

III.3.1. Application de l'utilisation de la décantation : en amont

- d'une boue activée moyenne à forte charge massique
- d'un lit bactérien
- de disques biologiques
- de lits d'infiltration percolation

Il conviendrait de préciser, que la décantation primaire n'est pas nécessaire dans une station d'épuration à boues activées de petite taille (moins de 600 Kg DBO5/j).

III.3.2. Principe

Le décanteur est en fait un ouvrage où la vitesse de l'eau qui remonte dans l'ouvrage (encore appelée vitesse ascensionnelle) est réduite. La vitesse de décantation de la particule grenue est alors supérieure à la vitesse ascensionnelle. Ce qui permet la séparation de la particule grenue de l'eau traitée. Plus la surface de décantation est grande, meilleure sera la qualité de l'eau décantée.

Une particule chute dans l'eau, mais l'eau qui arrive dans l'ouvrage remonte vers le haut, à la surface du décanteur. Il faut à tout moment **que l'eau REMONTE MOINS VITE QUE LA PARTICULE NE DESCEND.**

Les boues de décantation primaires sont très fermentescibles et risquent de produire des effets indésirables sur le reste de la filière de traitement si les boues séjournent trop longtemps dans le décanteur primaire. En effet, il faut toujours vérifier que les boues extraites ont une concentration au maximum de 10 g/l, sinon il faut procéder à l'augmentation de la cadence d'extraction.

III 4. Les principaux types de décanteurs

III 4.1 Les décanteurs statiques cylindro-coniques sans raclage

Ce sont des décanteurs à flux verticaux utilisés dans des installations de très petit débit (inférieur à 20 m³/h).

Ils sont donc utilisés pour les petites stations (1000 à 2000 hab).

L'extraction des boues exige une pente du fond au moins égale à 60° ce qui, pour des raisons économiques et de génie civil, conduit à des diamètres maximum de 6 à 7 m.

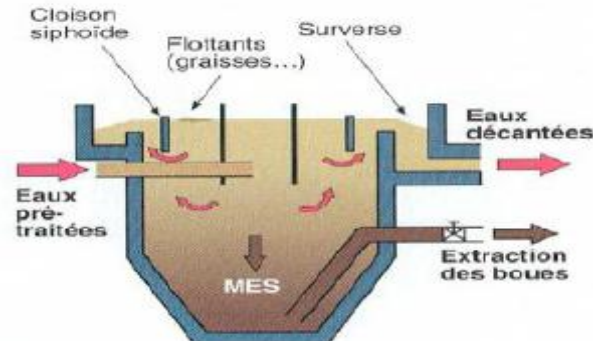


Figure 8: Décanteur primaire cylindro-conique

CHAPITRE III : TRAITEMENT PRIMAIRE (DECANTATION)

III 4.2 Les décanteurs statiques à raclage mécanique des boues

a) décanteurs circulaires

Le racleur est fixé à une charpente tournant autour de l'axe du bassin. Il peut comporter une seule lame en forme de spirale ou une serre de raclettes en jalousie. Il comprend un fut central creux où arrive l'eau brute d'où elle est répartie généralement par une cloison siphonoïde annulaire. Les boues sont amenées vers une fosse centrale à l'aide d'un dispositif de raclage sur une pente de 5 à 10°.

De plus un racleur de surface pousse les corps flottants vers une écumoire d'où ils peuvent gagner la fosse des boues.

La hauteur moyenne des décanteurs circulaires raclés est de 3 à 3,5 m. Le diamètre peut atteindre 90m mais ils deviennent sensibles aux effets du vent qui peut perturber la bonne répartition du liquide.

Les variations de débit provoquent en effet des remous qui font remonter les boues en surface. Aussi toute variation de température même faible entre l'eau brute et l'eau du décanteur provoque des mouvements de convection qui ont le même effet.

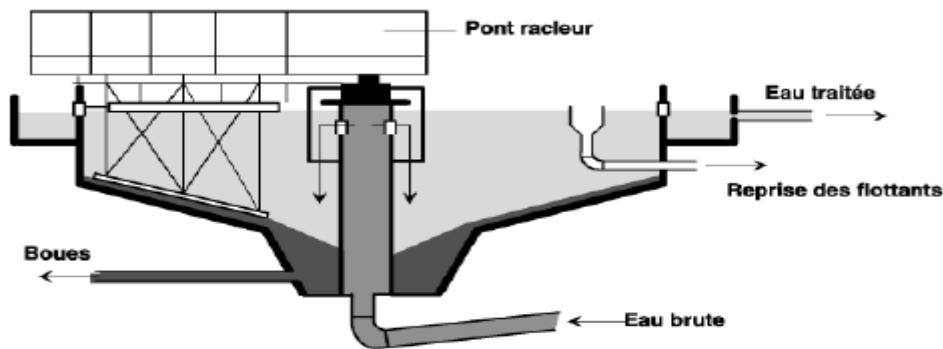


Figure 9 : décanteur circulaire à raclage mécanique des boues

b) Décanteurs longitudinaux rectangulaires

IL existe deux types de décanteurs rectangulaires avec raclage :

- 1- les décanteurs à pont racleur
- 2- les décanteurs à chaînes.

Les ponts racleurs se déplacent selon un système de va-et-vient et procèdent au raclage un mouvement à contre courant.

Les décanteurs à chaînes permettent un raclage continu des boues et des flottants par une série de raclettes montées en deux chaînes sans fin parallèles et tournant le long des parois verticales du bassin.

Le puits de boues est situé à l'arrivée de l'effluent et l'écumoire se trouve en amont immédiat de la sortie de l'eau décantée.

IL reste à remarquer que les décanteurs circulaires présentent quelques avantages par rapport aux décanteurs rectangulaires leur construction est relativement économique en raison de la faible épaisseur des parois circulaires de béton armé et de la faible densité d'armatures.

□ Remarque

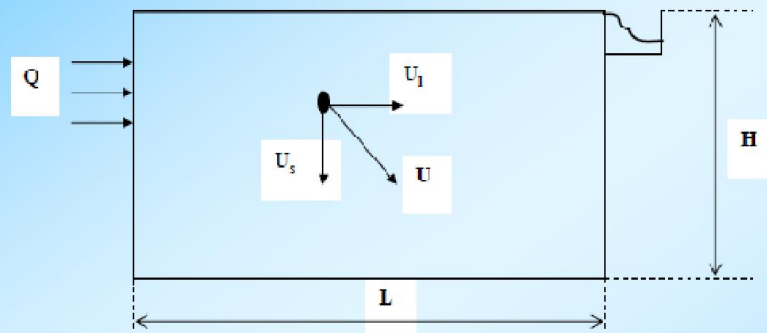
La particule est retenue dans le bassin si $V_c > V$ avec V : vitesse d'écoulement

$V_c/H \geq V/L$ avec $V/L = Q/L.S = Q/L.H.l$ soit $V_c/H > Q/L.H.l$ d'où $V_c = Q/L.l = Q/S_h = C_h$

S_h : surface horizontale du bassin L : longueur du bassin et l sa largeur

C_h : charge hydraulique superficielle ou vitesse de HAZEN. Elle est indépendante de la profondeur du bassin.

Décantation à flux horizontal

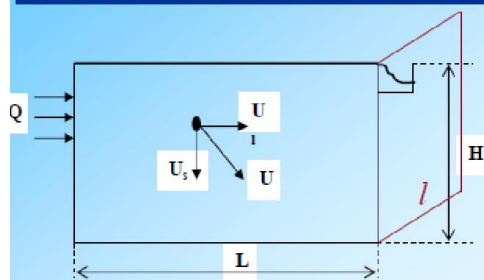


t_1 : Temps nécessaire à parcourir la distance L

t_0 : Temps nécessaire à atteindre le fond du décanteur

Les particules sont retenues si : $t_1 > t_0$

Décantation à flux horizontal



Les particules sont retenues si : $t_1 > t_0$

$$t_1 = \frac{L}{U_1} \quad t_0 = \frac{H}{U_s}$$

$$\frac{L}{U_1} > \frac{H}{U_s}$$

$$U_s > \frac{U_1}{L} \times H$$

t_1 : Temps nécessaire à parcourir la distance L

t_0 : Temps nécessaire à atteindre le fond du décanteur $Q = U_1 \times s$

$$U_s > \frac{Q}{s \times L} \times H$$

$$s = l \times H$$

$$U_s > \frac{Q}{l \times L}$$

S : Surface longitudinal bassin (surface miroir)

U_H : Vitesse de Hazen ou charge hydraulique superficielle

$$U_s > \frac{Q}{S} = U_H$$

Remarque

Les formes des décanteurs sont variables (circulaires, rectangulaires) mais il est classique de les voir circulaires en eaux résiduaires urbaines (ERU). Le décanteur rectangulaire présente l'avantage d'un gain de place et d'un génie civil plus simple (prix) mais, par rapport au décanteur circulaire, les boues sont plus difficiles à reprendre.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

Introduction

Les procédés d'épuration biologique sont utilisés lorsque les éléments à éliminer sont sous forme soluble ou lorsque leur taille ne leur permet pas d'être piégés par les prétraitements et traitements physiques sauf au prix d'un conditionnement physico-chimique complémentaire. Ils permettent de faire passer les éléments présents sous forme soluble ou colloïdales en éléments floculables et de constituer les agrégats que l'on peut de nouveau séparer de la phase liquide. La dégradation des matières organiques est le résultat de la vie des micro-organismes dont les plus importants et les plus nombreux sont les bactéries.

Cette dégradation se fait en deux phases presque simultanées :

- Une phase d'adsorption très rapide au cours de laquelle les substances organiques s'adsorbent sur la membrane extérieure des bactéries.
- Une phase d'oxydation, plus lente au cours de laquelle a lieu l'oxydation des substances organiques en produits de décomposition tels que CO₂ et H₂O.

Selon le mode de nutrition, les bactéries se classent en deux catégories :

- Les bactéries autotrophes, qui sont capables de faire la synthèse des éléments organiques de leur propre substance à partir des sels minéraux et de l'énergie lumineuse
- Les bactéries hétérotrophes, utilisent par contre les substances organiques se trouvant dans le milieu pour la synthèse cellulaire.

Selon le mode de respiration, les bactéries se classent en deux catégories :

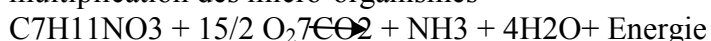
- Les bactéries aérobies
- Les bactéries anaérobies

Les bactéries responsables de l'épuration sont donc hétérotrophes aérobies.

La vitesse de dégradation dépend de plusieurs paramètres tels que la quantité d'oxygène, la masse totale de micro-organisme, la température et surtout la nature de l'effluent à traiter. En effet, de nombreuses substances (alcools, phénols, sucre, acides aminés, acides organiques) sont très rapidement dégradées alors que d'autres (hydrocarbures chlorés, acides humiques) le sont plus lentement.

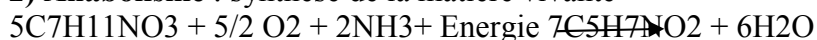
L'épuration biologique aérobie se produit selon les processus suivants :

1) Catabolisme : production d'énergie nécessaire à la synthèse cellulaire et à la multiplication des micro-organismes



Mat organique + microorganisme + O₂ → Energie

2) Anabolisme : synthèse de la matière vivante



Mat organique + microorganisme + O₂ → matière vivante

3) Auto-oxydation de la matière vivante : respiration endogène



Remarque

Divers travaux ont permis de préciser une formule symbolique de la matière organique contenue dans un effluent urbain. Il s'agit de **C₇H₁₁NO₃**. En ce qui concerne la matière vivante (cytoplasme bactérien) deux formules ont été proposées : **C₅H₇NO₂** ou bien **C₇H₉NO₃**.

IV.1. Evolution de la DBO (matière organique) et de la masse bactérienne en fonction du temps

Si on procède à une aération d'une eau usée décantée, contenant des matières organiques et des bactéries, on assiste à une évolution progressive de la masse microbienne selon cinq phases :

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

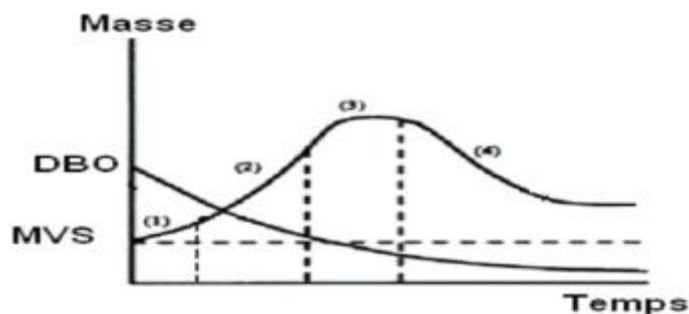


Figure 10 : Evolution de la DBO et de la biomasse bactérienne

a) **Phase de latence** : Pendant laquelle les micro-organismes s'adaptent au milieu nutritif. La vitesse de croissance est nulle, la DBO5 reste pratiquement constante.

Cette durée d'adaptation dépend:

- du type de micro-organismes
- du nombre de germes inoculés
- de l'état physiologique de ces germes
- de la température du milieu de culture

Cette phase n'est pas souvent observée lors des expériences.

b) **Phase exponentielle** :

Cette phase de croissance à vitesse constante est appelée phase de croissance exponentielle. La vitesse observée est égale à la vitesse de synthèse, le phénomène de respiration endogène étant négligeable. La consommation d'oxygène est élevée par suite de l'activité intense de synthèse cellulaire. En effet, pendant cette phase, le milieu riche en nourriture, permet un développement rapide des bactéries. Ainsi la DBO diminue rapidement par contre la masse des matières volatiles en suspension augmente et la masse d'oxygène présente dans le milieu décroît.

c) **Phase de ralentissement** :

Cette phase est marquée par un appauvrissement du milieu en nourriture entraînant un ralentissement de la synthèse cellulaire. On observe alors un début de plafonnement de la masse des MVS.

d) **Phase stationnaire** :

Les bactéries continuent à se diviser, mais en utilisant les réserves accumulées au cours des stades précédents. Au cours de cette phase, il n'y a plus de substrat et le taux de croissance est nul.

e) **Phase de déclin ou phase endogène** :

L'épuisement du milieu en matières organiques, provoque la mort de nombreux micro-organismes. Il se passe alors une auto-oxydation c'est la phase endogène. L'oxygène apporté est utilisé par les bactéries pour leur propre transformation en produits finaux (CO_2 , H_2O , NO_2 ...).

Remarque

Dans la figure 1 présentée ci-dessous

IV. 1.2. Interprétation analytique

a) **Phase exponentielle** :

La phase de croissance de la masse bactérienne en présence d'un substrat dans un milieu aéré, est décrite par une loi exponentielle (loi de MONAD) de la forme :

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot X \quad \text{d'où} \quad \int_{X_0}^X \frac{dx}{x} = \int_0^t \mu dt$$

$$\text{Log} \frac{X}{X_0} = \mu \cdot t$$

$$X = X_0 e^{\mu t}$$

Avec :

X : masse bactérienne présente dans le milieu à l'instant t /unité de volume

X₀ : masse bactérienne présente dans le milieu à l'instant t=0 /unité de volume

μ : taux de croissance des bactéries

Comme une fraction de la pollution est convertie en nouvelles cellules, on suppose que pour un temps de réaction Δt, la masse bactérienne passe de X₀ à X tel que :

$$X = X_0 + \Delta X$$

On définit un rendement de croissance a_m comme étant la masse de cellules produites par unité de masse d'aliments consommés (mg de cellules produites par mg de DBO éliminée).

Ce rendement est variable selon les conditions de culture.

a_m = bactéries formées /substrat éliminé = $\Delta X / \Delta L$ avec $\Delta L = L_0 - L$

Donc : $X = a_m \Delta L + X_0$

$$\text{Ln} \left[\frac{a_m \Delta L + X_0}{X_0} \right] = \mu \cdot t$$

$$\text{d'où } a_m (L_0 - L) = a_m \cdot L_e = \Delta X = X_0 [\exp(\mu t) - 1]$$

$$a_m (L_0 - L) / X_0 + 1 = e^{\mu t}$$

$$\Rightarrow \text{Log} \left[\frac{a_m (L_0 - L)}{X_0} + 1 \right] = \mu t$$

C'est l'équation d'une droite qui peut conduire à calculer μ en portant

$\text{Log}[a_m (L_0 - L) / X_0 + 1]$ en fonction du temps .

$L_0 - L$: charge éliminée exprimée en DBO₅

b) Phase de croissance ralentie

Dans cette phase la nourriture devient un facteur limitant, la vitesse d'oxydation de la DBO devient fonction de la concentration en DBO dans le milieu.

On écrit alors :

$$- \frac{dL}{dt} = L \cdot X \cdot K \Rightarrow \frac{dL}{L} = -X \cdot K \cdot dt$$

K est la constante de croissance ralentie, le signe – correspond à la disparition de la DBO₅ .

Après intégration entre l'état final caractérisé par L_f et l'état initial caractérisé par L_0 et en admettant une concentration moyenne en boues dans le bassin X_a , l'équation devient :

$$\text{Log} \frac{L_f}{L_0} = -X_a \cdot K \cdot t \Rightarrow L_0 = L_f \exp(X_a \cdot K \cdot t)$$

En utilisant le développement en série de la fonction exponentielle tel que $\exp X = 1 + X + \frac{X^2}{2} + \dots$; on peut alors écrire :

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{1}{1+X_a.K_d.t}$$

d) Respiration endogène : lorsque les micro-organismes ne sont plus alimentés, leur masse diminue par auto-oxydation (la respiration endogène). La décroissance est proportionnelle à la concentration en biomasse X . Cette phase de respiration endogène peut être exprimée par l'équation :

$$\frac{dX_a}{dt} = -bX_a$$

Avec

b (h^{-1}) taux de respiration endogène ou taux de mortalité des micro-organismes ; il est de 0,18 à

20 °C et de 0,135 à 13 °C. Ces différentes phases et les équations qui les régissent sont valables en milieu aérobie et anaérobie. Les valeurs des différents coefficients dépendent de la nature du substrat et de divers paramètres tels la température, le pH.

IV.1.3. Apport en Azote et Phosphore

L'analyse des cellules synthétisées a montré que l'azote et le phosphore sont des éléments constitutifs essentiels.

Les eaux usées domestiques contiennent une alimentation équilibrée, mais il n'en est pas de même des eaux industrielles qui sont souvent pauvres en azote et en phosphore.

En l'absence de l'azote, les bactéries ne peuvent pas synthétiser de nouvelles cellules. L'activité des boues ramenée au poids de MVS s'en trouvera réduite et le rendement de l'épuration diminuera progressivement. D'autre part, les boues carencées en azote montrent souvent de mauvaises caractéristiques de décantation.

Lorsque l'effluent à traiter est dépourvu d'éléments nutritifs (N et P), il convient alors de lui ajouter sous forme d'engrais agricoles, soit par addition d'effluent urbain dans les proportions convenables, ou encore sous forme de produits comme le phosphate d'ammonium.

En effet, on définit des apports minimums exigés pour une épuration biologique de : DCO/N/P = 150/5/1 ou encore DBO/N/P = 100/5/1.

Pour un effluent urbain, on obtient des rapports de l'ordre de DBO/N/P = 100/25/1.

IV.2. Procédés d'épuration biologiques

Les principaux procédés d'épuration biologiques sont :

Procédés intensifs ou artificiels : Il s'agit de la décomposition de façon biochimique, par oxydation les matières non séparables par décantation ; une nouvelle substance cellulaire se forme et a un poids supérieur que celui de l'eau d'égout et de ce fait une décantation est donc possible. Parmi ces procédés, on distingue :

- Les boues activées
- Les lits bactériens
- Les disques biologiques

Procédés extensifs ou naturels

Parmi ces procédés, on distingue :

- Le lagunage naturel
- L'épandage des eaux (valorisation des eaux usées dans l'agriculture).

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

IV.2.1. Boues activées

Le procédé à boues activées, est un système fonctionnant en continu dans lequel des micro-organismes sont mis en contact avec les eaux usées contenant les matières organiques.

Le milieu est rendu favorable à la vie de la flore microbienne par apport d'air d'une part et par introduction de substances nutritives d'autre part.

Quatre principales utilisations spécifiques du procédé à boues activées :

- ☐ Élimination de la pollution carbonée (matières organiques)
- ☐ Élimination de la pollution azotée
- ☐ Élimination biologique du phosphore
- ☐ Stabilisation des boues

IV.2.2.Éléments d'une station à boues activées

L'installation d'une station d'épuration à boues activées est constituée essentiellement d'un bassin d'aération précédé d'un prétraitement (dégrillage, dessablage et déshuilage) , d'un traitement primaire dont le but d'éliminer les matières en suspension et suivi d'un clarificateur qui assurera la séparation de l'effluent épuré des boues qui seront en partie recyclées dans le bassin d'aération pour en assurer le réensemencement et en partie extraites (boues en excès)vers le traitement des boues.

C'est dans le bassin d'aération que la majeure partie des réactions biochimiques de transformation de la pollution carbonée (voire azotée et phosphorée) a lieu. On y maintient généralement 3 à 4g L⁻¹ (selon la charge appliquée) de biomasse active en état d'aérobiose à une concentration de 2 à 2.5 ppm en oxygène dissout

Aussi, il y a un brassage efficace de l'eau permettant le transport et le bon contact entre les bactéries, la nourriture et l'oxygène.

En conclusion, le principe de l'épuration par boues activées, est de transformer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de boues biologiques que l'on pourra séparer de l'eau épurée au niveau du clarificateur.

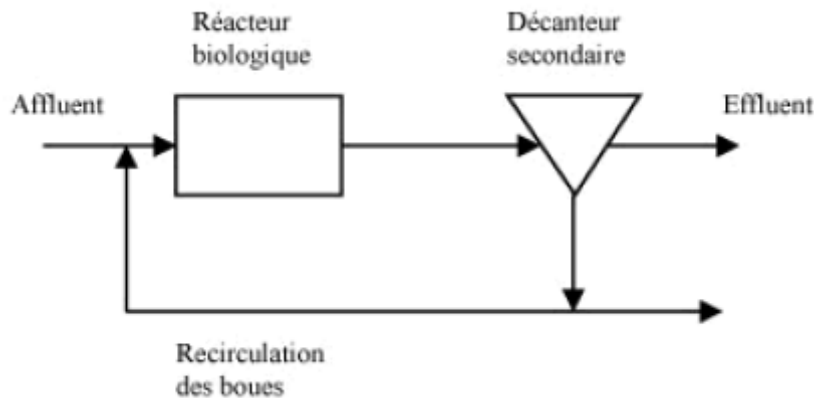


Figure 11: Fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées

Les éléments essentiels pour assurer le traitement des eaux usées par le procédé boues activées sont donc les suivants :

- l'arrivée d'eaux usées.
- le bassin d'aération. Il peut être rectangulaire ou circulaire.
- l'arrivée d'air.
- le brassage de la boue.
- le clarificateur. Il peut être circulaire ou rectangulaire. A ce niveau s'effectue la séparation entre les boues et l'eau épurée.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

- le dispositif de recirculation des boues.
- le dispositif d'extraction des boues.

IV.2.3. Régime hydraulique d'un procédé à boue activée

Le traitement par la technique de boues activées peut être réalisée par les deux principaux types :

- mélange intégral
- mélange piston

IV.2.3.1 Mélange intégral

Le mélange intégral est un procédé permettant de mélanger instantanément les eaux décantées à travers la totalité du bassin d'aération. Ainsi, il existe dans le bassin une teneur constante des boues activées, une oxygénation homogène et une répartition uniforme de la pollution organique.

IV.2.3.2 Mélange piston

Dans ce cas, l'eau pénètre à l'une des extrémités du bassin et avance « de front » vers l'autre extrémité. L'effluent injecté à un instant donné progresse donc en bloc (en piston). Il circule lentement dans le sens longitudinal.

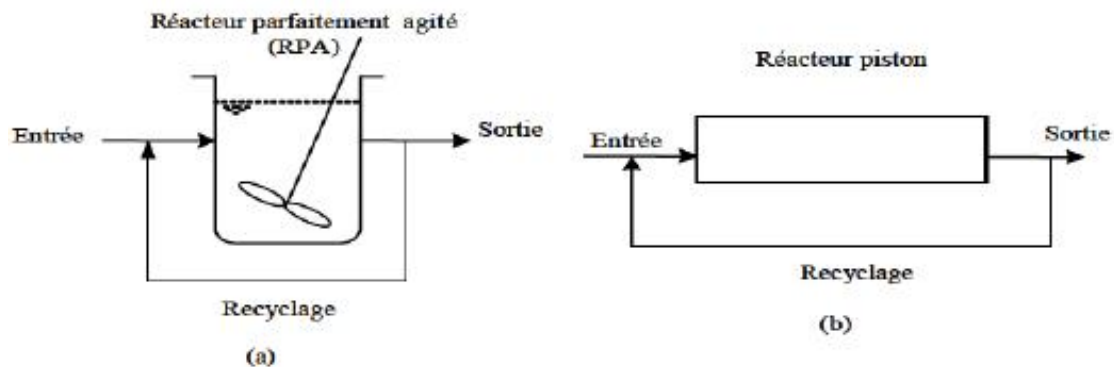


Figure 12 : Mélanges hydrauliques

IV.2.4. Comparaison entre les deux systèmes

Le réacteur à mélange piston conduit à des rendements d'élimination en DBO plus importants que le bassin à mélange intégral. Ceci pour des temps de séjour faibles.

Le système à mélange intégral est préféré pour sa stabilité et les faibles variations de la concentration de l'effluent traité. La dilution instantanée de l'effluent brut dans le bassin permet d'absorber plus facilement les changements soudains de charge.

IV.2.5. Paramètres de fonctionnement en boues activées

a) Facteurs de charges

On définit les caractéristiques d'un bassin d'aération par deux paramètres :

- charge massique : C_m
- charge volumique : C_v

La charge massique donne une approximation du rapport entre la quantité journalière de pollution à éliminer et la masse de bactéries épuratrices mises en œuvre.

La pollution est mesurée en DBO₅ (Kg/j) et la quantité de bactéries est assimilée par certains auteurs à la quantité des MVS et par d'autres à la quantité des MES. Il serait donc prudent de vérifier à la fois la définition des symboles utilisés et les unités dans lesquelles sont exprimés les facteurs ainsi mis en relation.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

En épuration d'eau un réacteur biologique pourra se caractériser suivant ces paramètres essentiels :

- La charge massique : C_m .
- Charge volumique : C_v .
- Age des boues : A_b .
- Indice de MOHLMANE : I_m
- Besoin en oxygène.
- l'aptitude des boues a la décantation.

Ces paramètres une fois adaptés aux conditions particulières de l'effluent épuré permettant alors l'épuration biologique le plus appropriée.

La charge massique : C_m

$$C_m = \frac{Q \times S_0}{V \times X_t}$$

Avec :

Q : le débit de l'effluent à traiter [m^3/j],

S₀ : la concentration en substrat, en [$kgDBO_5/m^3$],

X_t : la concentration en biomasse dans le bassin, en [$kgMS/m^3$ ou $kgMVS/m^3$],

V : le volume du bassin en [m^3].

Egale aussi :

$$C_m = \frac{DBO_5 \text{ (entré } kg/j)}{MVS \text{ dans l'aérateur (masse de boue) (kg)}} = \frac{L_0 \cdot Q}{X_a V} = \frac{L_0 \cdot Q}{X_t} \left(\frac{kgDBO_5}{kgMVS} \cdot j \right)$$

Il vient que $\frac{C_v}{C_m} = X_a$ (concentration des MVS dans l'aérateur)

Selon les valeurs de C_m , on peut classer les modes de traitement en :

- Oxydation totale (aération prolongée) $0,05 < C_m < 0,1$
- Système à faible charge $0,1 < C_m < 0,2$
- Système à moyenne charge $0,2 < C_m < 0,5$
- Système à forte charge $0,5 < C_m < 1$
- Système à très forte charge $1 < C_m < 5$

b) Charge volumique : C_v

On définit la charge volumique comme étant le rapport de la pollution apportée par unité de volume de bassin.

$$C_v = \frac{DBO_5 \text{ (entré } \frac{kg}{j})}{Volume \text{ du bassin } m^3} = \frac{L_0}{V} \left(\frac{kg}{m^3 \cdot j} \right)$$

Il vient

$C_v / C_m =$ concentration des MVS dans le bassin

Egale aussi à

$$C_v = \frac{Q \cdot S_0}{V}$$

La notion de charge volumique est moins caractéristique du procédé, est n'a aucune signification biologique. Elle est par contre, très utilisée pour le dimensionnement rapide. Le tableau suivant donne les modes de traitement en fonction des charges massiques

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

Tableau 10: Caractéristiques des différents paramètres de dimensionnement des stations d'épuration par boues activées suivant la charge : ROQUES

Mode d'épuration Paramètres	Forte charge (1)	Moyenne Charge (2)	Faible Charge (3)	Aération prolongée (4)
C_m (kg DBO ₅ /kg MVS	≥1	0.2 à 0.5	0.1 à 0.2	≤ 0.1 (=0.07)
C_v (kg DBO ₅ /m ³)	1.5	0.55 à 1.5	0.3	0.25
t_s (heure)	1 à 3	3 à 6	6 à 18	≥18
Concentration des boues dans le bassin d'aération C_b=C_v/C_m (kg/m³)	2 à 3	3 à 6	4 à 5	≥5
Quantité de boue produite (kg de boue sèche/kg de DBO ₅ éliminé)	≥0.5	0.3 à 0.5	0.1 à 0.2	≤ 0.1
Consommation de O₂ (kg de O ₂ / kg de DBO ₅ éliminé)	0.3 à 0.8	0.8 à 1.2	1.2 à 1.5	1.5 à 2
Nitrification	Nulle	Début	Avancée	Très avancée
Rendement (%)	70 à 80	80	90	95
Boue produite	Très instable (traitement de boues obligatoire)	Instable	Plus ou moins stable	Stable

b) Indice de Mohlman

C'est le rapport entre le volume des boues décantées en une demi-heure et la masse de matières en suspension contenue dans ce volume. Il est donné par :

$$I_m = \frac{V_{30}}{M}$$

V₃₀ : volume de boue obtenu après 30 mn de décantation d'un litre de boue activée.

M : masse des matières en suspension dans le bassin de boue activée.

I_m est sous l'influence d'un certain nombre de paramètres qui définissent les conditions de formation du floc dans le réacteur biologique :

- Intensité d'agitation
- Etat physiologique de la biomasse
- Les conditions du milieu : Équilibre du substrat, PH, Température, etc
- Les charges de fonctionnement

Cet indice permet de mettre en évidence, l'aptitude des boues à la décantation. Généralement, les boues sont bien décantables pour $80 < I_m < 150$

Si $I_m \sim 80$; la décantation est très bonne mais les boues sont difficilement pompables

Si $I_m \sim 150$: la décantation est très lente.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

c) Age des boues :

L'état physiologique de la biomasse est mesuré par l'âge moyen de la boue (le temps de séjour moyen des boues dans le bassin d'aération).

On définit l'âge des boues, comme étant le rapport entre la masse des boues présentes dans le bassin d'aération en Kg et la masse journalière de boues extraites.

$$A_b = \frac{[MES]_{BA} \times V_{BA}}{[MES]_E \times Q_E}$$

A_b : l'âge des boues en heure.

Q_E : Débit journalier d'extraction des boues en excès

$[MES]_{BA}$: Concentration en MES des boues activées Kg / m³.

V_{BA} : Volume du bassin d'aération (la liqueur mixte) en m³.

$[MES]_E$: Concentration en MES des boues extraites

$$\text{Age de la boue} = \frac{\text{Quantité de biomasse}}{\text{Quantité de biomasse sortant}} = \frac{\text{Vol. réacteur} \cdot [MVS]}{\text{Vol. entré ou sort.} \cdot [MVS]} = T_s$$

Il est aussi donné par la relation suivante :

$$G = \frac{X_t}{a_m L_e - b X_t}$$

Ce paramètre indique le temps de séjour moyen dans le bassin d'aération.

d) Effet de température

Les variations de température affectent tout processus biologique. La valeur optimale pour l'activité des micro-organismes intervenant au cours de l'épuration est comprise entre 25 et 30 °C. Au delà, la vitesse de réaction décroît très vite et le floc bactérien se trouve rapidement épuisé en oxygène. Ceci est valable dans le cas des boues activées à faible charge.

Cependant, en fortes charges, le floc a tendance à se disperser, ce qui conduit à une mauvaise décantation des boues dans le clarificateur.

f) Effet du pH

Les systèmes biologiques tolèrent une gamme de pH allant de 5 à 9 avec une zone optimale de 6 à 8.

g) Toxicité

La nature des toxiques est d'origine métallique. La présence de ces substances toxiques dans l'effluent, conduira à une inhibition partielle ou totale de l'activité des micro-organismes.

IV .2.6. Besoins théoriques en oxygène

Les deux phénomènes suivants sont à l'origine des besoins théoriques en oxygène :

1. Oxydation des Matières Organiques
2. Destruction des matériaux cellulaires lors de la phase de respiration endogène.

Elle est donnée par la relation suivante :

Poids O₂ = a' Poids DBO₅ éliminé + b' Poids matières volatiles.

On peut donc écrire :

$$Q_{O_2} = a' \cdot L_e + b' \cdot X_t$$

q O₂ est exprimée en Kg/j

L_e : DBO éliminée exprimée en Kg/j

X_t : masse totale de boues présentes dans l'aérateur en Kg.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

a' : est la fraction de pollution transformée en énergie de synthèse au cours de l'épuration. C'est aussi la quantité d'oxygène à fournir aux bactéries pour qu'elles synthétisent la matière vivante à partir de 1g de pollution.

b' : coefficient lié à la respiration endogène

Tableau 11 Valeur de a' et b'

Paramètre	Forte charge	Moyenne charge	Faible charge	Aération prolongée
a' (kgO ₂ /KgDBO ₅)	0.52	0.57	0.6	0.64
b' (kgO ₂ /KgMVS.j)	0.11	0.08	0.07	0.07

Remarque

Pour la respiration endogène, l'équation relative à l'oxydation de la matière vivante s'écrit :



On constate que 113 g de matière vivante exigent 160 g d'O₂ pour être minéralisées.

Si on appelle b , le coefficient représentant la quantité de matière vivante détruite par endogénèse pour fournir l'énergie d'entretien.

On a: $b' = \frac{160}{113}b$ soit $b' = 1,42 b$

b est exprimé en Kg MVS détruit/ Kg MVS.j

L'oxydation d'une cellule de formule **C₅H₇NO₂** requiert 1,42 fois son poids d'oxygène

D'où $a' = 1,42 a$

Les valeurs des deux coefficients a' et b' sont obtenues expérimentalement au laboratoire

La consommation d'oxygène est fonction des multiples facteurs tels que le pH, la température, la turbulence, type de flore etc

Besoins théoriques en oxygène en tenant compte de trois termes :

- ☐ L'oxydation de la matière organique,
- ☐ La respiration endogène des boues,
- ☐ La nitrification.

Une partie de l'O₂ consommée pour la nitrification est récupérée par la dénitrification.

$$Q_{O_2} = a' L_e + b' X_t + 4,3N - 2,85c'N$$

Avec :

Q_{O_2} : Quantité d'oxygène à apporter pendant la période considérée (kg O₂)

a' : Quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de 1kg DBO₅

L_e : Quantité de DBO₅ à éliminer pendant la période considérée (kg DBO₅).

b' : Quantité d'oxygène nécessaire au métabolisme endogène de 1 kg de MVS des boues, par jour

X_t : Masse de MVS dans le bassin d'aération (kg) : se calcule en multipliant la concentration en MVS(g/l) dans le bassin d'aération par le volume (m³) de celui-ci.

4,3 : Taux de conversion de l'azote ammoniacal en azote nitrique

N : Quantité d'azote à nitrifier pendant la période considérée ;

2,85 : Taux de conversion de l'azote nitrique en azote gazeux

c' : Fraction de l'oxygène des nitrates récupéré par dénitrification. En moyenne 70 %

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

Remarque importante

La quantité d'azote à nitrifier peut se calculer à partir de l'azote NK (Kjeldahl) entrant dans l'étage biologique, duquel on soustrait :

- ☐ l'azote assimilé par les bactéries
- ☐ l'azote Kjeldahl rejeté

Nà nitrifier = NKentrée - NKass - NKrejeté

NKass = 5 % du flux de DBO5 entrant

$$\text{Besoin horaire en oxygène} = \frac{BO_2 \text{ journalier}}{\text{temps de marche des aérateurs}}$$

IV .2.7. Transfert d'oxygène

Les micro-organismes utilisent l'oxygène pour dégrader la matière organique et pour se maintenir en vie. L'oxygène est amené au moyen d'appareils appelés aérateurs.

On admet que les bactéries aérobies n'utilisent pas directement l'oxygène gazeux mais à l'état dissous.

Le transfert d'oxygène a lieu en trois étapes distinctes :

- 1) adsorption des molécules d'oxygène atmosphérique à la surface du film liquide.
- 2) Diffusion de ces molécules à travers le film liquide
- 3) Dissolution de l'oxygène par les phénomènes de diffusion, de convection et encore de turbulence.

La diffusion constitue un transport de matière d'un récipient vers l'autre ; c'est un processus lent et irréversible qui se produit également au sein des liquides, et même des solides

La convection est un mode de transfert qui implique un déplacement de matière dans le milieu.

Si C_1 est la concentration de l'oxygène dans l'eau,

C_s est la concentration de l'oxygène à saturation mesurée à l'interface eau -oxygène,

L'équation donnant la vitesse de transfert de l'oxygène dans l'eau s'écrit :

$$\frac{dC}{dt} = K(C_s - C_1)$$

$C_s - C_1$ mesure le déficit en oxygène dans l'eau dû à la consommation de ce dernier.

C_s = concentration en O2 dissous à saturation en mg/l

C_1 = concentration en O2 dissous au temps t en mg/l

K est un coefficient d'aération caractéristique du couple aérateur- bassin dans les conditions de l'essai

Il s'exprime en h-1 et dépend de plusieurs facteurs tels que :

- le volume et la forme du bassin d'aération
- la température
- la nature du liquide à aérer.

K augmente lorsque la température augmente selon la relation :

$$K_T = K_{T_0}^{T-T_0}$$

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

IV .2.8.Systèmes d'aération

L'aération est une étape importante des procédés biologiques de traitement: elle apporte l'oxygène nécessaire aux microorganismes pour oxyder l'effluent. Elle entraîne le brassage des bassins

Dans un procédé par boues activées, les coûts de l'aération représentent la part la plus importante (souvent de 60 à 80%) de la dépense énergétique (qui constitue le 1/3 du coût de fonctionnement)

a) Aérateurs de surface : projection de l'eau dans l'air

Ils sont dominants sur les petites et moyennes installations à boues activées et sur les lagunes, rares sur les très grosses stations d'épuration. On distingue :

- ☐ Brosses
- ☐ Turbines à axe vertical (turbines rapides et lentes),

Les turbines lentes présentent des vitesses de rotation de 40 à 100 t/mn tandis que les turbines rapides, tournent à 750 ou 1 500 t/mn

b) Systèmes à insufflation d'air :

Ces systèmes réalisent l'introduction d'air surpressé en profondeur dans les bassins, ce qui limite les nuisances spécifiques telles que le bruit et les aérosols, des aérateurs de surface.

- ❖ Grosses bulles ($\varnothing > 6$ mm)
- ❖ Moyennes bulles ($\varnothing = 4$ à 6 mm)
- ❖ Fines bulles ($\varnothing < 3$ mm)

Remarque

Le rendement d'oxygénation des diffuseurs à grosses bulles est faible du fait de la vitesse ascensionnelle élevée des bulles et de leur surface de contact réduite. C'est pourquoi ces dispositifs sont aujourd'hui quasiment abandonnés malgré l'attrait que présente leur très grande rusticité.

Les dispositifs à moyennes bulles sont utilisés sur les petites et moyennes stations d'épuration ainsi qu'en lagunage, mais restent largement dominés en nombre par les aérateurs de surface.

L'intérêt des diffuseurs à fines bulles est relativisé par leur susceptibilité au colmatage résultant des poussières et de l'huile des surpresseurs ou des boues mêmes du bassin d'aération en cas d'arrêt de la surpression.

IV .2.9. Clarificateur

Le clarificateur a une fonction de séparation de phase (boues / eau traitée) et une fonction d'épaississement afin de ramener la boue activée la plus concentrée dans le bassin d'aération.

Il est équipé d'un Clifford ou jupe de répartition dont le rôle est d'éviter des courants de boues en surface du clarificateur et d'assurer la répartition de celle-ci vers le radier. Les eaux clarifiées sont reprises dans des goulottes en partie supérieure pour rejet dans le milieu récepteur.

Recirculation des boues

Les trois fonctions de la recirculation sont :

- maintenir une concentration en boue constante et correcte dans le bassin d'aération selon la charge appliquée,
- éviter l'accumulation des boues dans le clarificateur et le débordement du lit de boue,
- limiter le temps de séjour des boues dans le clarificateur pour garantir une bonne qualité de boue.

Le taux de recirculation R/Q est donné par la formule suivante :

$$R/Q = CBA / CR - CBA$$

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

Avec :

R = débit de recirculation

Q = débit d'eau clarifiée

CBA = concentration boues activées en g MES/l

CR = concentration boues décantées ou recirculées en g MES/l

IV .2.10. Production de boues

L'élimination des matières organiques conduit à une synthèse cellulaire qui augmente la proportion de boues dans le bassin. Il est alors important de connaître la masse de boues formées afin de prévoir l'importance des évacuations et les procédés de traitement pour les boues extraites.

L'évaluation du bilan de boues excédentaires peut être estimée par la différence entre les boues formées et celles éliminées.

La production de boue biologique (ΔB) est la somme de plusieurs facteurs :

- les matières minérales en suspension dans l'eau à traiter B_{min} .
- les matières organiques en suspension difficilement dégradables appelées matières organiques dures ou inertes (fB_0).
- L'accroissement net du poids de matières cellulaires qui est la différence entre la quantité de matière vivante synthétisée à partir de la DBO5 éliminée ($L_e = L_0 - L_f$) et la quantité de matière vivante brûlée par la respiration endogène ($b.X_a$)

$$\Delta X = a_m.L_e - b.X_a$$

avec a_m et b sont des coefficients mesurables par des essais au laboratoire (mesure de l'activité respiratoire)

- les pertes de matières dans l'eau épurée, B_{effl} dépend des normes de rejet : on adopte généralement 30 mg/l.

La quantité de boues en excès est déterminée par la formule d'ECKENFELDER

$$\Delta B = B_{min} + fB_0 + a_m.L_e - b.X_a - B_{effl}$$

En pratique, $a_m = 0,55$ et $a_m.L_e - b.X_a \geq 0,20 a_m.L_e$

Remarque

Pour des stations de faibles charges ($< 0,1$ Kg de DBO5/Kg MVS.j), on observe que $a_m.L_e - b.X_a \approx 0,25 a_m.L_e$, on est alors en aération prolongée appelée aussi oxydation totale.

L'application de cette formule conduit à évaluer 40 à 50 g/j la quantité de boues produites par le traitement en aération prolongée, d'un effluent urbain, en supposant un rejet de 60 g de DBO5 par habitant et par jour et environ 70 g de MES/j.

Les calculs théoriques établis lors d'un bilan de boues ne correspondent pas souvent aux valeurs obtenues expérimentalement. Des déficits de 40 à 60 % sont ainsi relevés.

L'importance des pertes varie d'une station à une autre suivant les conditions dans lesquelles la station fonctionne.

Production des boues selon le Modèle AGHTM

Devant les fortes divergences entre prévisions de productions et productions réelles (de 30 à 70 %), une commission de l'association AGHTM (Association générale des hygiénistes et techniciens municipaux) regroupant divers exploitants, a redéfini à partir d'une étude réalisée, un autre modèle de calcul après validation sur le terrain. La production de boue s'établit, hors fuites de MES au clarificateur, selon la relation suivante :

$$P = S_{dur} + S_{min} + (0,83 + 0,2 \log C_m) \times DBO_5$$

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

Avec

$\log C_m$ = Logarithme décimal de la charge massique

DBO5 = Masse journalière de DBO5 à l'entrée du réacteur biologique en kg DBO5.j-1

Le terme $(0,83 + 0,2 \log C_m)$ DBO5 correspond à l'accroissement de la biomasse épuratrice.

Tableau 12 Formule production de boue

Modèle	Formule
Eckenfelder	$P = S_{dur} + S_{min} + a_m L_e - b S_v - S_{eff}$
Cemagref	$P = S_{dur} + S_{min} + 0,25 * a_m L_e - S_{eff}$
CIRSEE	$P = S_{dur} + S_{min} + (0,83 + 0,2 \log C_m) * DBO_5$
Simplifié	$P = (Flux DBO_5 + Flux MES) / 2$

IV .3. Disques biologiques

IV.3.1-Principe de fonctionnement

L'eau usée préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. En effet, lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques mm, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées.

Les caractéristiques des disques biologiques sont les suivantes :

- ☐ Épaisseur du biofilm 1 à 3 mm
- ☐ Diamètre 2 à 4 m
- ☐ vitesse de 1 à 2 t/minute
- ☐ Espacement entre les disques 2 à 3 cm
- ☐ Les disques doivent être couverts: protection contre les intempéries pluie, gel, soleil.
- ☐ Capacité : en DBO soluble: 15 à 30 g /m2.jour : charge hydraulique: de 0,04 à 0,16 m3/m2.jour

Dans l'industrie, on utilise préférentiellement les lits bactériens aux disques biologiques.

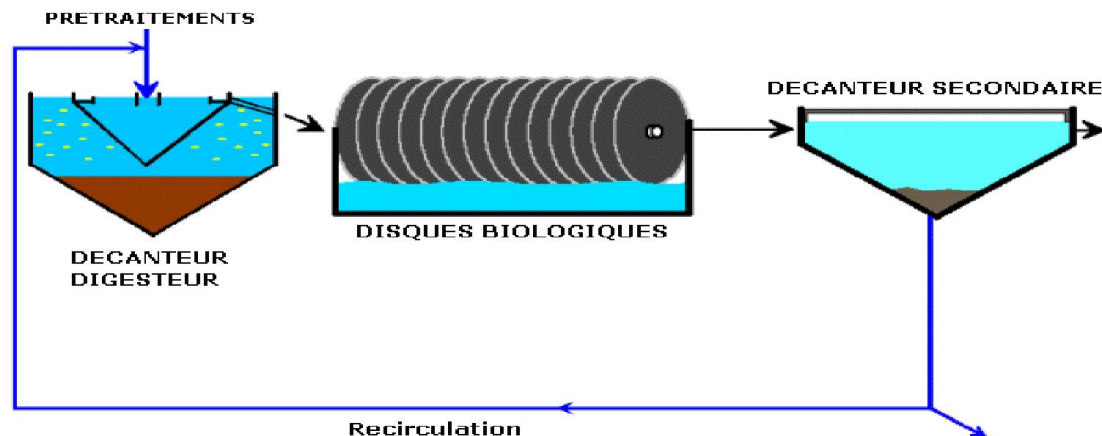


Figure 13 : Disques biologiques

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

Tableau 13 : Le dimensionnement des disques biologiques

Objet de rejet	Charge organique à appliquer (après décantation primaire)
≤35 mg DBO ₅ /l	9 g DBO ₅ /m ² .j
≤25 mg DBO ₅ /l	7 g DBO ₅ /m ² .j

IV.3.2 Avantages et inconvénients

Avantages

- généralement adaptés pour les petites collectivités ;
- bonne décantation des boues ;
- faible consommation d'énergie ;
- fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- plus faible sensibilité aux variations de charge que la technique de boues activées

Inconvénients

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, qui tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit par conséquent permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;
- coûts d'investissement importants ;
- grande sensibilité aux variations de température ce qui crée une obligation de couverture ;
- boues putrescibles.

IV.3.3-Contraintes d'exploitation

- passage de l'exploitant au moins deux à trois fois par semaine ;
- faible technicité requise pour l'exploitant : surveiller la bonne rotation des disques biologiques (absence de balourd) et assurer un bon entretien électromécanique ;
- faible consommation énergétique ;
- extraction des boues du décanteur-digester une à deux fois par an.

IV.4.Lit bactérien

IV.4.1.Principe de fonctionnement

Procédé de traitement biologique aérobie à culture fixée. Les micro-organismes se développent sur un matériau support régulièrement irrigué par l'effluent à traiter. Cette filière consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage en béton, de forme généralement cylindrique contenant une masse de matériau (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole. En sortie du lit bactérien, est recueilli un mélange d'eau traitée et de biofilm. Ce dernier est piégé au niveau d'un décanteur secondaire sous forme de boues et l'eau traitée rejoint le milieu naturel. La recirculation des boues vers le décanteur digesteur est essentielle. Les eaux usées sont réparties sur la partie supérieure du lit dans la majorité des cas, au moyen d'un distributeur rotatif (sprinkler). La satisfaction des besoins en oxygène est obtenue par voie naturelle ou par aération forcée. Les matières polluantes sont assimilées par les micro-organismes formant le film biologique. Celui-ci est constitué de bactéries aérobies à la surface et de bactéries anaérobies en profondeur.

Les boues excédentaires qui se décrochent naturellement du support sous l'effet de la charge hydraulique sont séparées par décantation secondaire.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

L'ensemble des micro-organismes (bactéries, vers, protozoaires, etc.) fixés sur le support est appelé Zoogluée.

Une station d'épuration par lit bactérien est composée des ouvrages suivants tels que le montre la figure ci-dessous :

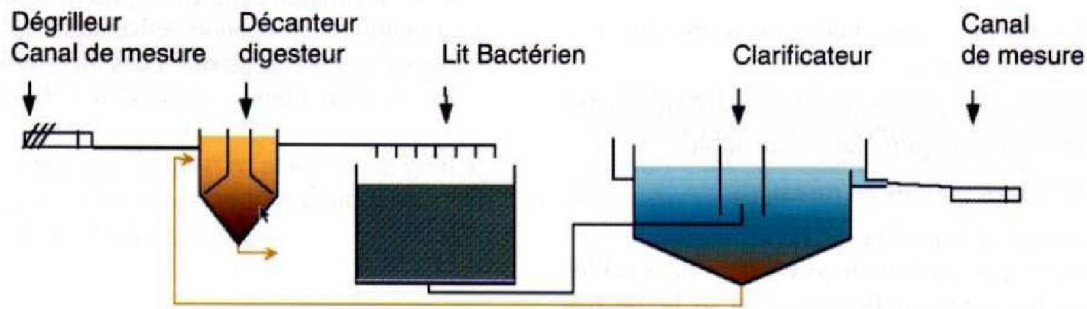


Figure 14 : Schéma d'un lit bactérien (filière classique)

Décanteur - Digesteur

Le rôle de cet ouvrage est de piéger une fraction des matières en suspension afin de limiter le colmatage du matériau de remplissage du lit bactérien et de limiter ainsi l'accumulation de dépôts dans les ouvrages et assurer la stabilisation des boues primaires piégées et des boues biologiques en excès

Clarificateur

Cet ouvrage est nécessaire pour récupérer les boues qui se décrochent du lit par autocurage. L'évacuation de l'eau se fait par le fond vers un clarificateur pour éviter le noyage d'un massif filtrant.

Recyclage

Il existe différents modes de recyclage :

- ☐ le recyclage d'eau clarifiée à l'aval du décanteur -digesteur
- ☐ la recirculation depuis le fond du clarificateur (eaux + boues secondaires concentrées) à l'amont du décanteur –digesteur.

Le recyclage a plusieurs objectifs :

- ☐ diluer les eaux brutes dont la concentration est trop élevée pour assurer un traitement secondaire efficace,
- ☐ augmenter le rendement par des passages successifs dans le massif filtrant, éviter les périodes de non alimentation du lit lesquelles entraîneraient son dessèchement.

IV.4.2 Matériau de remplissage du lit

Le garnissage du lit bactérien peut être :

- ☐ **Plastique** disque, anneaux ou toutes formes en PVC. La hauteur de garnissage Plastique : 5/6 m et peut atteindre 10 m.

Ce type de lit bactérien, est destiné souvent pour les eaux usées industrielles, les charges hydrauliques appliquées sont alors plus élevées et peuvent atteindre 10 m³/m².h.

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

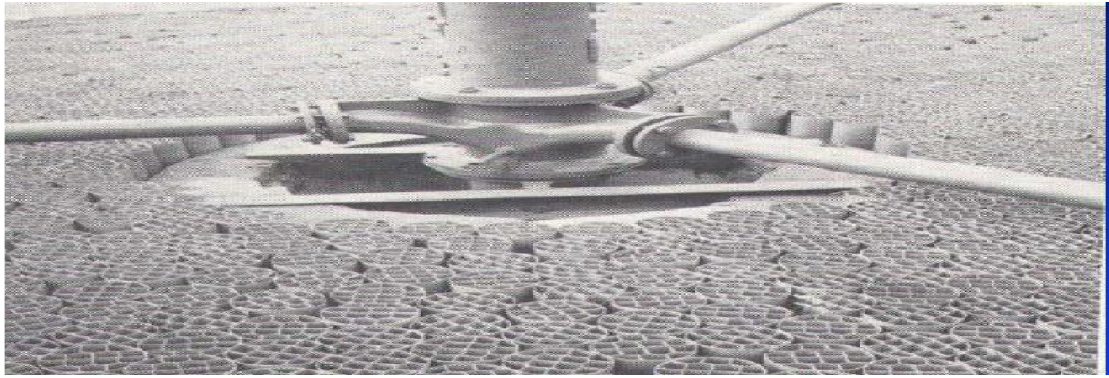


Figure 15 : garnissage en plastique du lit bactérien

Traditionnel (cailloux, pouzzolane) : 2,5 à 3 m. Pour ce type de lit bactérien, une charge hydraulique maximale de $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, permet d'atteindre des rendements supérieurs à 85% lors du traitement d'eaux usées domestiques

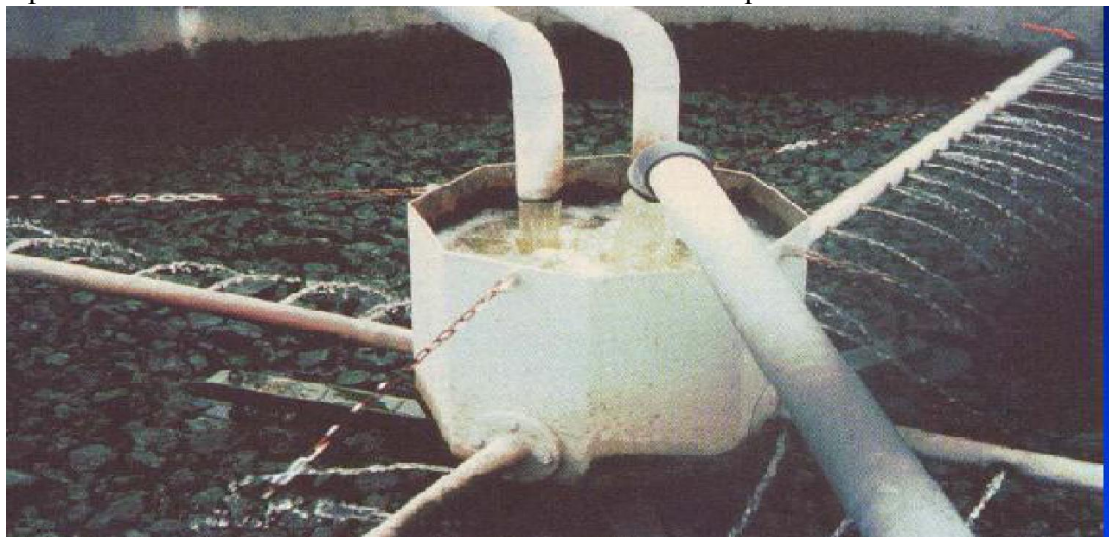


Figure 16 : Alimentation du lit bactérien garnissage minéral

Le diamètre du lit peut être :

- Minimum : 4/5 m
- Maximum : 35/45 m

IV.4.3 Critères de dimensionnement

Suivant la charge volumique appliquée, on distingue les lits à faible charge et les lits à forte charge, dont les caractéristiques de fonctionnement pour les eaux résiduaires urbaines sont les suivantes :

Tableau 14 : DBO₅ et charge hydraulique pour une faible et forte charge

Charges	Faible	Forte
- DBO ₅ kg/m ³ j	0,08 à 0,15	
- Charge hydraulique m ³ /m ² h	<0,4	>0,7

La DBO éliminée sur un lit bactérien, dépend de la nature de l'eau à traiter, de la charge hydraulique, de la température et de la nature du matériau de remplissage. La

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

formulation mathématique admet que dans un lit bactérien, les micro-organismes sont en phase de croissance ralentie

$$L_f / L_0 = e^{-k_1 \cdot t}$$

Avec

L_f : DBO5 de l'effluent clarifié (mg/l),

L_0 : DBO5 soluble de l'eau d'alimentation du filtre (mg/l),

t : temps de séjour moyen de l'eau dans le lit bactérien,

K_1 : constante dépendant :

□ De la température de l'eau,

□ Du matériau de remplissage,

De la nature de l'effluent à traiter.

La valeur de t est donnée par :

$$t = k_2 \cdot H / Q^n$$

Avec :

H : hauteur du lit,

Q : débit par unité de surface horizontale (m³/m².h)

K_2 et n : constantes.

On a donc:

$$L_f / L_0 = \exp(-k_1 \cdot k_2 \cdot H / Q^n) = \exp(-k \cdot A_s \cdot H / Q^n)$$

Avec :

K = constante de biodégradabilité

A_s = surface spécifique du matériau plastique considéré (m²/m³)

n = coefficient calculé expérimentalement. Il est donné par :

$n = 0,91 - 21,48 / A_s$ coefficient de remplissage

Le tableau suivant donne les valeurs de K pour quelques types d'eaux résiduaires.

Tableau 15 : Valeur de coefficient K

Nature de l'effluent	Valeur de K
Abattoirs	0.0082
Laiteries	0.0108
Conserveries fruits légumes	0.0153
Brasseries	0.0101
Huileries (olives)	0.0140
Eaux résiduaires urbaines	0.0226

Les performances du lit bactérien sont influencées par la température du biofilm et celles des eaux appliquées. Une diminution de la température conduit à une

CHAPITRE IV: TRAITEMENT SECONDAIRE (TRAITEMENT BIOLOGIQUE)

diminution de la vitesse de respiration et de transfert de l'oxygène. L'influence de la température est décrite par la relation : (Eckenfelder)

$$K(T) = K_{20^{\circ}\text{C}} * 1,035^{(T-20)}$$

T : température en °C.

IV.4.4. Calcul de la charge hydraulique

de l'équation (3) on tire Q

$$Q = [k * A_s * H / L_n (L_0/L_f)]^{1/n}$$

Avec:

Q : charge hydraulique par unité de surface (l/m².s)

K : constante de biodégradable corrigée

H : hauteur de remplissage choisie (m)

L₀ : concentration en DBO₅ à l'entrée du lit (mg/l)

L_f : concentration en DBO₅ objectif de traitement (mg/l)

n : coefficient de remplissage (0<n<1)

IV.4.5. Avantages et inconvénients des filières intensives

Le tableau ci-dessous résume les Avantages et inconvénients des filières intensives

Tableau 16 : Avantages et inconvénients des filières intensives

Filière		Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> faible consommation d'énergie ; fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; bonne décantabilité des boues ; plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées adaptés pour les petites collectivités < 10000 Hab 	<ul style="list-style-type: none"> Performances plus faibles qu'une technique par boues activées.; coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) nécessité de prétraitements efficaces sensibilité au colmatage ; ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boues activées	<ul style="list-style-type: none"> adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites < 1000 Hab) ; bonne élimination de la pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ; Boues stabilisées (faible charge ou aération prolongée); facilité de mise en oeuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> coûts d'investissement assez importants ; consommation énergétique importante ; nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; sensibilité aux surcharges hydrauliques ; forte production de boues qu'il faut concentrer

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Introduction

La réutilisation des eaux usées est essentielle au développement de politiques solides de gestion durable de l'eau et de l'environnement. Dans les régions arides et semi-arides, la réutilisation des eaux usées est un élément essentiel de développement, car elle assure une ressource alternative durable en eau, la réduction de la pollution de l'environnement et la protection de la santé publique. Le développement et la mise en œuvre d'une stratégie globale de gestion intégrée de l'eau avec réutilisation des eaux usées sont les seules voies possibles pour éviter l'augmentation du déséquilibre entre l'alimentation limitée et la croissance rapide de la demande, ainsi que la dégradation importante de l'environnement, l'exploitation poussée des nappes souterraines et l'accroissement de leur pollution.

La réutilisation de l'eau est un domaine en pleine expansion, principalement associé à l'agriculture. Dans les pays où les réserves actuelles d'eau douce sont ou seront prochainement à la limite du niveau de survie, le recyclage des eaux usées est la seule alternative significative peu coûteuse permettant des réutilisations agricoles, industrielles et urbaines ne nécessitant pas une eau de qualité potable.

V.1. Définition de réutilisation des eaux usées

On appelle réutilisation des eaux l'emploi nouveau des « eaux de deuxième main » pour un usage différent de celui de son premier emploi grâce à des actions volontaires.

La réutilisation peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

- La réutilisation directe correspond à l'emploi immédiat des eaux déjà utilisées, après épuration, sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel,
- La réutilisation indirecte correspond à l'emploi, sous forme diluée, des eaux déjà utilisées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel.

V.2 Motif de réutilisation

Les motifs pour le développement des systèmes de réutilisation peuvent être très variés, suivant le contexte local :

- Absence d'exutoire pour les effluents collectés,
- Absence ou déficit de ressource en eau et, en conséquence, besoin de mobiliser des ressources supplémentaires,
- Protection de l'environnement et des milieux récepteurs,
- Utilisation des eaux usées comme source d'éléments fertilisants et leurs applications pour améliorer les sols et la production agricole.

V.3 Contraintes

La réutilisation des eaux de deuxième main nécessite, comme pour les eaux naturelles, une collecte, un traitement, un transport et une distribution.

La collecte est faite par le réseau d'assainissement. Le traitement avant réutilisation doit être rajouté ou complété pour adapter la qualité des eaux et la rendre compatible avec l'usage envisagé.

Les problèmes posés par le transfert après traitement au point d'usage et la distribution des eaux de deuxième main sont de même type que pour les eaux naturelles.

Les contraintes principales sont alors posées par les risques sanitaires, l'adaptation en qualité aux usages envisagés et les obstacles psychologiques et culturels attachés à des eaux réputées dangereuses.

Les exemples connus d'utilisation sauvage des eaux usées sous la pression de la pénurie d'eau montrent l'importance des normes de l'hygiène et de leur respect.

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Les risques sanitaires peuvent être liés à l'accumulation de germes et pollution dans la nourriture, mais également au contact direct avec une eau de moindre qualité. Surtout en cas de pénurie d'eau, la gestion de ce problème s'avère difficile.

Un traitement adapté préalable des eaux peut réduire fortement les risques sanitaires. De plus, la mise en place d'un système de suivi et de contrôle est indispensable pour tout système de réutilisation.

Une solution souvent retenue est l'utilisation des eaux de deuxième main pour des usages avec un risque sanitaire réduit (irrigation d'arbres,...)

Un autre obstacle technique à surmonter est la différence entre la modulation des rejets et celle de la réutilisation. Par exemple, les effluents urbains sont quasi constants durant l'année, alors que les usages en agriculture dépendent largement des saisons et s'arrêtent complètement pendant certaines périodes.

La mise en place de dispositifs de stockage peut constituer une solution à ce problème ; une deuxième solution peut être un exutoire différent pour une partie des eaux ou pour certaines périodes.

V.4. Constituants importants dans les eaux usées

Tableau 17 : Constituants des eaux usées

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Solide en suspension	Solide en suspension	Le dépôt de boues et l'apparition de condition anaérobies dans l'environnement aquatique. Les matières en suspension colmatent les systèmes d'irrigation
Matières Organiques biodégradables	Demande Biochimique en Oxygène (DBO), Demande Chimique en Oxygène (DCO)	Composants principaux des protéines, hydrates de carbone et graisses. Peuvent causer la diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et le développement de conditions septiques
Pathogènes	Organismes indicateurs de contamination fécale, coliformes fécaux et totaux	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les pathogènes dans les eaux usées: bactéries, virus, parasites
Nutriments	Azote, phosphore, potassium	Azote, phosphore et potassium augmente la valeur des eaux usées pour l'irrigation. Peuvent causer la croissance d'une vie aquatique non désirable. Possibilité de pollution de la nappe souterraine
Composants Organiques spécifiques	Composants spécifiques (par ex: phénols, pesticides)	Résistent aux méthodes de traitement des eaux conventionnelles. Certains composants organiques sont toxiques dans l'environnement.
Activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale dans les eaux usées est pH =6.5-8.5,

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Métaux lourds	Eléments spécifiques (par ex: Cd, Zn, Ni, Hg)	Certains métaux lourds sont toxiques pour les plantes et les animaux.
Inorganiques dissous	Solides totaux dissous, Conductivité électrique, éléments spécifiques (par ex: Na, Ca, Mg, Cl, B)	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. Des ions spécifiques tels que Cl, Na, B sont toxiques pour certaines plantes. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité des sols.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Une quantité excessive de chlore libre (>0.5 mg/l Cl ₂) peut causer des chloroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Dans les eaux usées le Cl est sous forme combinée, et ne cause pas trop de dommages aux plantes.

V.5. Réutilisation des eaux usées épurées

V.5.1. Dans le monde

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe (surtout les pays méditerranéens), aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie.

Le volume journalier actuel des eaux réutilisées dépasse le chiffre impressionnant de 1 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple aux États Unis et en Chine.

V.5.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans quelques pays méditerranéens

La réutilisation des eaux usées devient un moyen important dans la lutte contre la pollution des milieux récepteurs, pour les régions arides et les régions au déficit temporaire en eau ces eaux deviennent une ressource alternative importante.

Le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée.

Seules l'Égypte et la Tunisie ont un réseau d'assainissement tel, qu'il permet le traitement respectif de 92% et 98% de toutes les eaux usées générées dans leurs STEP. Avec 13%, le Maroc occupe la dernière place, suivi par le Liban et la Syrie avec 26% et 34%.

V.5.3. Etat des lieux de la REUE en Algérie

Malgré les différents domaines d'utilisation des eaux usées épurées, des quantités importantes sont rejetées dans la nature sans aucune utilisation. Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2030.

Les efforts entrepris en Algérie en matière d'assainissement se sont d'abord concentrés sur le raccordement de la population urbaine sur un réseau de collecte des eaux usées, actuellement ils portent sur une politique de réalisation de stations d'épuration.

Vu l'importance des investissements pour la concrétisation de ce programme, des priorités ont été établies pour les agglomérations supérieures à 20 000 habitants jusqu'à l'horizon 2030.

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Dans le cadre de cette politique générale arrêtée par l'Algérie en matière de protection des ressources en eaux plusieurs stations d'épuration ont été réalisées. En 2009, le nombre de STEP à travers le territoire national a atteint 102 STEP en exploitation. (Voir Figure ci dessous),

Soit un total de 176 stations actuellement, a cela s'ajoute: 23 stations en cours d'étude dont 18 à boue activée et 5 stations type lagunage.

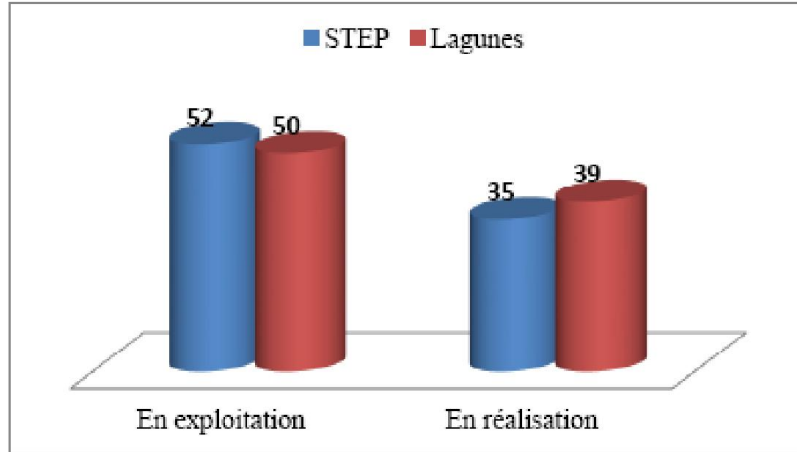


Figure 17: Nombre de stations d'épuration en Algérie.

V.5.3.1. Evolution des volumes des eaux épurées à l'échelle nationale

Le tiers des eaux usées produites annuellement en Algérie sont potentiellement réutilisables en irrigation, car proches de périmètres irrigués. (Hartani, 1998).

Les volumes des eaux usées collectées en 2004 sont de l'ordre de 504 HM3, soit 69% du volume total produit pour l'ensemble du pays (731 HM3/An). (ONA, 2014).

Comme présenté dans la figure ci après, selon l'étude de TECSULT (Etude de REUE à des fins agricoles ou autres en Algérie), les volumes des eaux usées épurées subiront une augmentation annuelle de plus de 23 HM3 alors que celle des eaux usées collectées sera d'environ 35 HM3/An.

Le taux d'épuration actuel passera de 40 % (2004) à 57% (2030). (Voir Figure ci dessous).

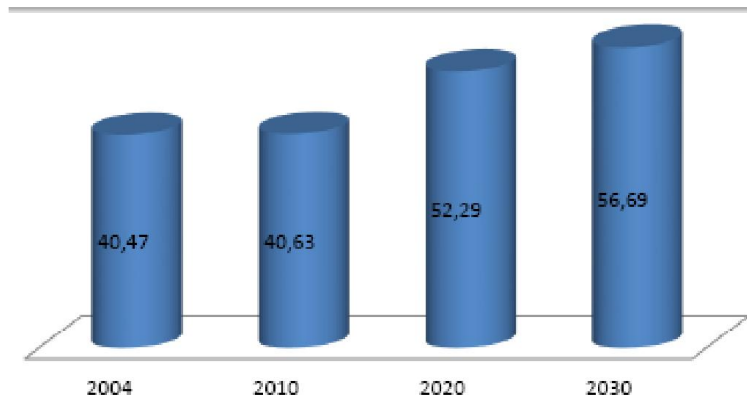


Figure 18: Evolution des taux des EUE en Algérie (HM3/an).

Les rejets à l'amont des barrages contribuent indirectement au remplissage des retenues et à la recharge des nappes, les EUE rejetées dans les chotts et la mer représentaient 77 % du volume total des EUE en 2004, cette ressource est considérée comme perdue et sa valorisation devra être priorisée (Voir figure ci après).

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

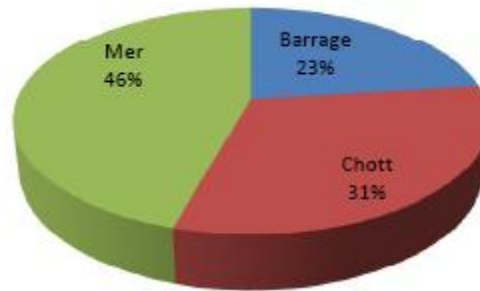


Figure 19: Rejets des EUE (HM3/an) par milieu récepteur.

V.5.3.2. Les Facteurs influençant la REUE en Algérie

Les facteurs de réussite déclinés lors de l'état des lieux de la REUE en irrigation dans quelques pays du monde sont les éléments d'évaluation de la situation en Algérie en matière de REUE, Le tableau (02) est une grille d'évaluation de ces facteurs de réussite en Algérie. (ONA, 2014).

Tableau 18: grille d'évaluation des facteurs de réussite de la REUE en Algérie. (ONA, 2014).

Les facteurs de réussite	Niveau de maitrise
La volonté Politique.	Facteur Bien maitrisé.
Cadre réglementaire.	
Cadre Institutionnel.	Facteur moyennement maitrisé.
Infrastructures d'assainissement.	Facteur Bien maitrisé.
Niveau de développements des traitements de désinfection.	Facteur moyennement maitrisé.
Existence de laboratoires externes de contrôle.	Facteur non maitrisé.
Acceptation sociale	
Formation, sensibilisation sur la REUE	Facteur moyennement maitrisé.

	Facteur non maitrisé.
	Facteur moyennement maitrisé.
	Facteur Bien maitrisé.

V.6. Avantage et inconvénient

V.6.1. Avantage des réutilisations des eaux usées épurées

Pour les agriculteurs, l'incitation principale est le bénéfice attendu de l'utilisation des eaux usées en irrigation, ainsi qu'elle est une source fiable même en années de sécheresses.

Les avantages peuvent brièvement récapitulés comme suit :

- Economie d'eau claire ;
- Economie de fertilisant ;
- Accroissement de rendement ;
- Protection de l'environnement ;
- Création d'emplois.

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

V.6.2. Inconvénients de la réutilisation

Les inconvénients sont principalement liés à l'adaptation aux usages et aux obstacles psychologiques et culturels attachés à des eaux supposées dangereuses. Les principaux inconvénients liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture sont les suivants:

- le risque sanitaire lié à la présence de germes dans les eaux usées traitées aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur;
- en raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut en résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui peut entraîner une chute de la production végétale et même une stérilité des sols par accumulation de sel;
- l'apport en quantité importante des doses d'azote et de phosphore peut nuire à la production agricole et contribue à la pollution des nappes;
- Le contrôle des eaux réutilisées doit être rigoureux et permanent. Il exige donc des moyens importants, techniques et humains, ce qui est souvent difficile à obtenir dans les pays arides et semi-arides. Le contrôle indispensable est rendu encore plus délicat à assurer correctement en raison de la multiplicité des intervenants au niveau de la collecte, du traitement et surtout au niveau des utilisateurs;
- les sites d'utilisation doivent se trouver à proximité des stations d'épuration, c'est-à-dire dans les zones périurbaines peuplées.
- la réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposées sont de faibles rentabilités économiques.
- les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions. Que faire des surplus en période humide?

V.7. Traitement et stockage des eaux usées

V.7.1 Mode de traitement

Afin d'éviter tout risque sanitaire, il est indispensable de traiter l'eau avant de la réutiliser. En règle générale type de traitements sont utilisés en combinaisons diverses en fonction des besoins spécifiques du type de réutilisation choisi.

Le choix des méthodes de traitement dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la qualité de l'effluent, le type de réutilisation, les exigences de qualité et la taille des installations. En fonction des conditions locales et des critères technico-économiques, différents technologies extensives ou intensives peuvent être envisagées.

Le tableau ci-dessous résume plusieurs modes de traitement recommandés pour les différents types de réutilisation de l'eau.

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Tableau 19: Modes de traitement recommandés en fonction du type de réutilisation

Mode de réutilisation	Traitement extensif	Traitement intensif
1. Irrigation de cultures bien définies (arbres fruitiers, forêts, prairies)	E.1 bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées	I.1. traitement secondaire par boues activées, ou filtration biologique
2. Irrigation de cultures sans restriction, légumes consommés crus	E.2. Même chose que E.1, avec désinfection	I.2. Même chose que I.1 avec filtration et désinfection
3. Utilisation urbaine pour l'irrigation de parcs, de terrains de sport et de golf	E.3. Même chose que E.2	I.3. Même chose que I.2 L'étape de filtration est recommandée en cas d'accès libre pour le public
4. Restauration des nappes phréatiques	E.4. Même chose que E.2, et filtration dans le sol vers l'aquifère	I.4. Même chose que I.2 avec élimination des nutriments
5. Utilisation directe ou indirect dans le réseau d'eau potable	E.5. Non applicable	I.5. traitement secondaire, tertiaire et quaternaire, charbon actif

V.7.2. Stockage

Le stockage que comporte toute installation de réutilisation d'eaux usées a des dimensions très différentes selon les objectifs poursuivis.

Le volume stocké pourra être plus important s'il doit faire face aux risques d'interruption de l'approvisionnement en eau épurée ou aux pannes des systèmes de traitement. Dans les régions véritablement déficitaires en ressources en eau, le stockage est intersaisonnier; il emmagasine l'eau inutilisée en période hivernale, qui sera utilisée durant l'été. Le volume du stockage est alors l'équivalent de plusieurs mois de consommation.

On distingue deux types de stockage intersaisonnier : (i) la recharge de nappe, (ii) les réservoirs de stabilisation. Le choix entre ces deux procédés dépend naturellement du contexte hydrogéologique. La recharge de nappe exige une nappe phréatique suffisamment perméable, qui ne soit pas déjà exploitée pour la production d'eau potable dans la zone intéressée par la recharge, et des sites propices à l'infiltration. Un contexte hydrogéologique favorable n'est pas si courant. Au contraire, l'installation d'un réservoir de stabilisation est moins contraignante; elle exige essentiellement qu'un terrain soit disponible.

V.7.2.1 Recharge de nappe aquifère

Il y a deux manières de recharger des nappes aquifères : l'injection directe et les techniques de surface.

L'injection directe consiste à introduire l'eau, après qu'elle ait subi un haut degré de traitement, directement dans l'aquifère par le moyen d'un forage. Ce procédé est très coûteux, particulièrement quand il s'agit d'eaux usées.

Les techniques de surface, l'infiltration percolation et l'épandage, sont par contre beaucoup plus accessibles. Ces techniques, utilisent les capacités épuratrices des sols en place. Elles combinent épuration complémentaire et recharge de nappe. Elles rendent possible l'utilisation d'eaux de qualité variée. Les épaisseurs de zone non saturée et les transits dans la nappe permettent d'obtenir, par pompage, une eau propre à des irrigations non restrictives.

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Il faut souligner que le succès d'une opération de recharge de nappe dépend beaucoup de la qualité des études hydrogéologiques et pédologiques préalables.

V.7.2.2 Réservoirs de stabilisation

Le stockage de longue durée dans des bassins constitue un véritable traitement complémentaire. Le stockage permet en effet la diminution de la demande en oxygène, des teneurs en MES, en métaux lourds, en azote et en micro-organismes. Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau d'entrée, la conception du réservoir en particulier sa profondeur, les conditions climatiques, le temps de séjour moyen de l'eau dans le réservoir et le mode de gestion de celui-ci.

Les très nombreux réservoirs intersaisonniers réalisés en Israël, où ce procédé est le plus développé, sont profonds de 5,5 à 15 m pour limiter les pertes par évaporation et la surface occupée. La partie supérieure de la masse d'eau est aérobie; la partie inférieure est anaérobie. Une partie de l'azote est éliminée, soit par stripping de l'azote ammoniacal, soit par nitrification et dénitrification. Une fraction du phosphore entré dans le réservoir se trouve accumulée dans les sédiments. Les bactéries sont éliminées dans la tranche d'eau supérieure, sous l'effet de la lumière et des pH élevés.

V.7.3.Critères globaux et procédure méthodologique de sélection des filières de réutilisation.

Le choix des filières de traitement pour la réutilisation des eaux usées est une procédure délicate qui doit prendre en compte plusieurs critères, non seulement techniques, mais également d'ordre réglementaire, social et économique.

L'enjeu majeur est d'assurer une ressource alternative qui respecte l'environnement sans risques pour la santé publique. Pour cette raison, par apport à la fiabilité des filières et aux garanties de qualité de l'eau produite se rapprochent souvent de celle de l'eau potable. D'autre part des contraintes économiques très fortes pèsent sur les choix techniques.

La démarche de choix des filières comprend au moins quatre étapes :

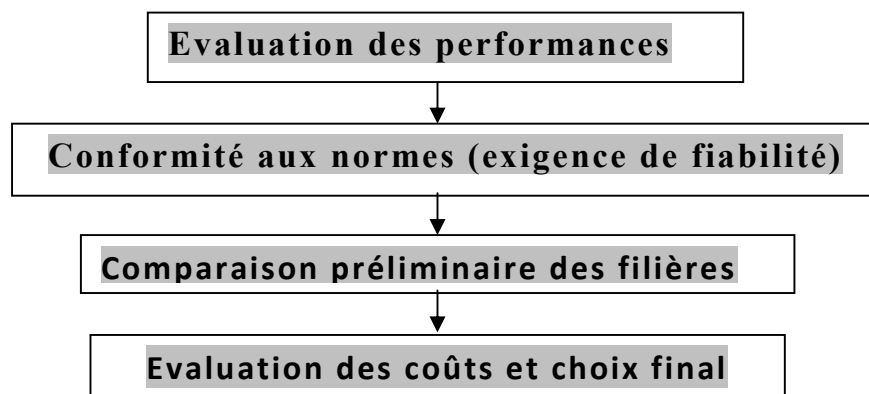


Figure 20 : Critères globaux et procédure méthodologique de sélection des filières de réutilisation

V.7.3.1 Evaluation des performances

Evaluation des performances et choix des procédés disponible en fonction de la qualité de l'eau à traiter et de l'usage final.

V.7.3.2 Conformité aux normes

Analyser les normes imposées et autres contraintes réglementaires ;

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

V.7.3.3 Comparaison préliminaire des filières

La proposition des filières de traitement doit également prendre en compte d'autres critères importants, tels que la taille des installations, les conditions climatiques, les spécificités locales géographiques, culturelles, politiques ;

V.7.3.4 Evaluation des coûts et choix final

Évaluation technico-économique prend en compte d'autres éléments, tels les infrastructures existantes (disponibilité des terrains et de l'électricité, proximité des habitations etc,...), les équipements existants (extension d'usine, nouvelle installation, distance de distribution) et les sources de financement pour les investissements et l'exploitation.

V.8. Exigences de mise en œuvre pour la réutilisation

Selon les conditions et les besoins des consommateurs en termes de qualité, deux grands types de réutilisation ont été mis en œuvre.

L'agriculture représente la plus grande part de la consommation d'eau, avec 70 à 98 % de la demande globale. Dans les pays arides et semi-arides, c'est la réutilisation des eaux usées qui fournit la majeure partie de l'eau d'irrigation.

La réutilisation urbaine à des fins non potables (arrosage des espaces verts, cascades, fontaines, nettoyage des rues, lavage de voitures, chasses d'eau et lutte anti-incendie) se développe rapidement ; elle est en train de devenir un élément clé dans les politiques de gestion intégrée de l'eau dans les zones urbaines à forte densité de population.

L'industrie est le deuxième grand marché pour la distribution d'eau, soit environ 25 % de la demande mondiale. La réutilisation industrielle et recyclage interne sont désormais une réalité économique. Pour certains pays et type d'industrie, l'eau recyclée atteint 85 % de la consommation globale. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (l'eau de refroidissement) et les papeteries.

V.9. Irrigation

Pour optimiser la réutilisation des eaux usées :

- il faut adapter les systèmes d'irrigation à la qualité de l'eau employée,
- il faut optimiser l'apport d'eau et éviter les apports excessifs en azote,
- il faut avoir la possibilité d'irriguer un nombre de cultures suffisant (élargir la gamme des cultures).

V.9.1. Choix de la méthode d'irrigation

Le choix du système d'irrigation approprié dépend

- de la qualité de l'eau usée,
- de la culture,
- des coutumes,
- de l'expérience,
- de la compétence et de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes,
- de la contamination des cultures (parties comestibles)
- du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public.

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

V.9.2. Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales exigées quand l'eau usée est utilisée

Tableau 20 : Facteur affectant le choix de la méthode d'irrigation

Méthode d'irrigation	Facteurs affectant le choix	Mesures spéciales pour les eaux usées
Irrigation à la planche	Plus faible coût, planage précis non nécessaire	Protection complète pour des ouvriers agricoles, les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage précis peut être nécessaire	Protection pour des ouvriers agricoles, éventuellement pour les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation par aspersion	Efficacité moyenne d'utilisation de l'eau, nivellement non requis	Les arbres fruitiers, ne devraient pas être irrigués. Distance minimum de 50 –100 m des maisons et des routes. Des eaux ayant été traitées par voie anaérobie ne devraient pas être employées, en raison des nuisances olfactives.
Irrigation souterraine et localisée	Coût élevé, efficacité d'utilisation de l'eau élevée, rendements plus élevés	Filtration pour prévenir le colmatage des distributeurs

a- Irrigation à la planche

Les irrigations à la planche, par bassin et par submersion impliquent:

- le recouvrement complet de la surface du sol avec l'effluent traité
- la contamination des cultures qui poussent sur le sol ou dans le sol.
- contact des agriculteurs avec l'effluent
- méthodes d'irrigation acceptées que pour la production de fourrages, céréales ou arbres fruitiers à condition que les eaux soient au moins de classe B
- les ouvriers doivent éviter le contact direct avec l'eau pendant l'irrigation
- danger de pollution du sol et des nappes phréatiques supérieures à celui des autres systèmes d'irrigation à cause des pertes par colature et par percolation.



Figure 21 : Irrigation à la planche

b- Irrigation à la raie

L'irrigation à la raie:

- ne mouille pas l'entièreté de la surface du sol
- méthode pouvant réduire la contamination des cultures puisque les plantes poussent sur les buttes
- protection sanitaire complète ne peut pas être garantie
- risque de contamination réduit si l'effluent est transporté par des conduites fermées
- danger de pollution du sol et des nappes phréatiques supérieures à celui des autres systèmes d'irrigation à cause des pertes par colature et par percolation



Figure 22 : Irrigation à la raie

Directives liées à la pratique de l'irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire nécessite deux types de mesures de protection majeures:

- Bien maîtriser la dose appliquée pour éviter une percolation des eaux en profondeur qui entraînerait des nitrates vers la nappe.
- Les ouvriers opérateurs de l'irrigation doivent être protégés et sensibilisés.

c- Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion:

- Peut être utilisée pour épandre des eaux usées qui ont subi un traitement secondaire si l'effluent n'est pas trop salin
- La filtration et le choix d'ajutage de diamètre adéquat sont nécessaires
- Moins de risques de colmatage que l'irrigation localisée
- Risque lié à la contamination des cultures par contact avec l'eau et du voisinage par aéroaspersion
- Cultures industrielles et cultures consommées cuites peuvent être irriguées avec ce procédé.



Figure 23 : Irrigation par aspersion

CHAPITRE V: EAUX USEES ET TECHNIQUES DE REUTILISATION

Directive liée à la pratique de l'irrigation par aspersion

On estime qu'une zone tampon d'environ 100 m dans le cas d'effluents secondaires serait nécessaire pour réduire à des niveaux négligeables les concentrations en pathogènes.

d- Irrigation localisée

L'irrigation localisée:

- Technique la mieux adaptée à l'apport d'eaux usées (moins de risques sanitaires)
- Ces systèmes requièrent une filtration efficace
- Demandent un entretien constant à cause de leur sensibilité au colmatage
- Intégrer dans le système certains composants tels que : filtres à tamis, filtre à sable, vanne de purge, etc
- Effectuer régulièrement un contrôle et une vérification de la performance des composants ainsi que du fonctionnement de tout le système.

Directives liées à la pratique de l'irrigation localisée

Avantages

- Efficience élevée,
- Ne posera à priori aucun risque sanitaire étant donné le très faible contact possible entre les organes des plantes cultivées et l'eau d'irrigation.
- Précautions suivantes à prendre:
 - Choisir des goûteurs évitant l'obstruction des goûteurs.
 - Manipuler avec soins les fruits et particulièrement qui peut être consommé à l'état frais
 - Bien laver produits avant livraison à domicile ou sur le marché.

Les solutions suggérées pour résoudre le problème de colmatage sont

- Pomper l'eau à une profondeur d'environ un mètre de la surface.
- L'eau doit être filtrée pour éviter les problèmes dus aux algues en suspension (filtres à gravier, à sable ou autres sont exigés avec les systèmes de micro-irrigation).
- Choix de la méthode d'irrigation.
- En cas d'impuretés et en l'absence de système de filtration, les systèmes goutte à goutte devraient être évités.
- Selon la culture, les arroseurs peuvent être un meilleur choix. Même l'irrigation de surface pourrait être préférée.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Introduction

Tous les déchets humains ...que le monde perd... en envoyant les eaux usées dans les rivières... seraient suffisants pour nourrir le monde s'ils retournaient à la terre au lieu d'être évacués dans la mer.

Fin du 19ème siècle, de nombreuses grandes villes occidentales (Paris, Londres, Berlin,...) disposaient de champs d'épandage (sewage farms) pour éliminer leurs eaux usées.

Apparition de maladies hydriques ⇒ fin de la REU. Après la seconde guerre mondiale, regain d'intérêt.

VI.1. Intérêt de réutilisation

- Réduire la pollution des rivières,
- Accroître les ressources en eau dans les régions sèches.

VI.2 Risques Liés à la Réutilisation Agricole des Eaux Epurées

Le lien entre eaux usées épurées et risque sanitaire est essentiel, il porte sur les contaminations que peuvent engendrer soit le contact direct avec des eaux usées épurées, soit l'ingestion de produits alimentaires ayant été en contact avec des EUT,

Ces risques de contamination sont d'ordre bactériologique ou chimique.

Les risques liés à une REUE agricole sont :

- Le risque microbiologique
- Le risque chimique
- Le risque environnemental

VI.2.1 Risque Microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes.

Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes.

VI.2.2 Risque Chimique

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds (FAO, 2003).

□ Eléments en Trace 1

Ils ne sont pas tous toxiques, beaucoup sont essentiels en petites quantités pour la croissance des plantes (Fe, Mn, Mo, Zn). Cependant, en quantités excessives ils peuvent causer des accumulations indésirables dans les tissus des plantes et une réduction de leur croissance.

Enfin, remarquons que le risque posé par les métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée). Par ailleurs, certains sont bons pour la croissance des végétaux, ils s'éliminent facilement par des traitements physiques (décantation) et se retrouvent généralement dans les boues.

□ Sodium

La plupart des cultures arboricoles et autres plantes pérennes de type ligneux sont particulièrement sensibles à de faibles concentrations de sodium. Les cultures annuelles sont relativement moins sensibles mais peuvent être affectées si la concentration est plus élevée.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Les plantes absorbent le sodium en même temps que l'eau et celui-ci se concentre dans les feuilles, pouvant entraîner des dégâts (toxicité) si son accumulation dépasse la tolérance de la culture. Les symptômes paraissent en premier lieu sur les plus vieilles feuilles, en commençant par les bords externes.

Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers, l'avocatier et le haricot, les fraisiers et, d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na.

□ **Chlore**

La plupart des cultures d'arbres et autres plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faibles doses alors que la plupart des cultures annuelles ne le sont pas. Le chlorure (Cl) et le sodium (Na) sont moins toxiques que le bore. Dans les régions arides et semi-arides l'eau usée traitée peut avoir une concentration élevée en Cl et Na à cause du contenu relativement élevé de ces éléments dans les eaux domestiques.

□ **Bore**

Le bore est un des éléments essentiels à la croissance végétale, mais il n'est nécessaire qu'à des doses relativement faibles. En quantité excessive il devient toxique.

Enfin, on peut dire que, le risque posé par les métaux lourds dépend, donc, de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition. Par ailleurs, certains métaux sont indispensables pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par les traitements physiques (décantation) et sont récupérés dans les boues.

VI.2.3 Risque Environnemental

L'utilisation d'eau usée épurée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée traitée sont :

- L'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- La propagation des microorganismes pathogènes (FAO, 2003).

A. Effets sur le Sol

Ces impacts sont importants pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit garder sa fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- L'accumulation de nutriments

Le principal risque encouru par le sol lors de l'irrigation des cultures par des eaux d'effluents moyennant les différentes techniques existantes est celui du colmatage. En règle générale, ce colmatage n'affecte que la partie superficielle du sol.

B. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : Le sol, les roches sous-jacentes et la nappe.

Deux caractéristiques sont essentielles pour les sols : la capacité de rétention et la capacité d'épuration. Les sols qui ont une bonne capacité de rétention sont les sols argilo sableux, ceux ayant une mauvaise qualité sont les roches fissurées.

Une bonne capacité de rétention assure une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et l'exportation par les végétaux.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

C. Effet sur les eaux superficielles

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu.

VI.3. Normes de réutilisation des eaux usées

Pays sans normes → utilisent OMS

- Nombreux pays ont élaboré une réglementation REU sur base de la directive OMS.
- Généralement, les pays les plus riches ont adopté le principe du «risque zéro».
- Ces règlements sont revus régulièrement et progressivement à la baisse pour tenir compte de l'amélioration du niveau moyen de l'hygiène. C'est la tendance générale; l'OMS a revu en 2006 sa directive (plus restrictive pour eau de qualité A et moins pour l'eau de qualité B).

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies.

Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes.

L'exemple du tableau donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sont citées.

Tableau 21: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	légère	Elevée
Salinité	< 0.75	0.75-3.0	> 3
-Conductivité (mS/cm)	< 700	700-2000	>2000
-Matières dissoutes totales			
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

Les normes ont pour objectif de :

- ☐ Protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- ☐ Protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- ☐ Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- ☐ Protéger le matériel d'irrigation ;
- ☐ Maintenir des rendements acceptables, en particulier dans les zones arides et semi-arides.

A l'échelle mondiale, il n'existe pas de réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées traitées. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

et de la géographie, du type de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays.

Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel l'état de Californie, l'OMS, la FAO, etc... La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités.

VI.3.1 Normes OMS

Tableau 22 : Normes OMS

Avant 1918	la réutilisation de l'eau usée pour irrigation est pratiquée dans plusieurs régions, depuis la civilisation Minoenne, sans aucune réglementation pertinente
1918	Première règlement en Californie.
1952	Premiers critères d'utilisation en Israël
1973	Directives de l'OMS (100 FC/100 ml pour 80% d'échantillons)
1978	Titre 22 en Californie
1989	Directives OMS pour la réutilisation de l'eau usée
1992	Directives EPA Américaines pour la réutilisation de l'eau usée
2002	Californie 22 Titre, révisé
2004	Directives EPA Américaines pour la réutilisation de l'eau de rebut, révisé
2004	Normes marocaines pour les eaux d'irrigation
2006	Directives OMS révisées
2006	Directives australiennes pour recyclage de l'eau usée: gestion du risque pour la santé et environnemental

Depuis 1982, l'OMS effectue des recherches afin de fournir une base scientifique et établir ses recommandations. Cela a abouti en 1989 au "Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture" ou "Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture". Elles ont été révisées en 2000, (Les seuils proposés en 2000 apparaissent pourtant dans des conditions particulières ou en tant que seuil imposé :

- lorsque le personnel exposé concerne des enfants de moins de 15 ans, la qualité de l'eau usée doit contenir un maximum de 0,1 œufs d'helminthe / L, et ce, quel que soit le mode d'irrigation²), en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques. Pour établir les nouvelles normes, deux approches ont été utilisées: d'une part, des études épidémiologiques empiriques complétées par des études microbiologiques concernant la transmission des germes pathogènes et, d'autre part, une évaluation quantitative du risque basée sur un modèle applicable aux germes pathogènes choisis.

Cette approche combinée a permis d'obtenir un outil puissant pour établir des recommandations, avec un rapport coût/efficacité avantageux et une garantie de protection de la santé publique. Cette révision a permis d'affiner les normes de l'OMS. Les modifications ont essentiellement porté sur la norme " œufs d'helminthes " qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/L.

Ces recommandations ne concernent que l'usage agricole, et il y a donc un "vide juridique" pour les autres usages. Les normes concernent uniquement les quantités de micro-organismes.

Le Tableau ci dessous résume les recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

L'OMS, définit les catégories, les conditions de réutilisations, les groupescibles, les techniques d'irrigation utilisées et celles d'épuration recommandées pouratteindre des limites de rejets de coliformes fécaux et nématodes intestinaux. Ilprécise toutefois, que dans certains cas particuliers, les facteurs épidémiologiques,socioculturels et environnementaux qui devront être pris en compte, et lesrecommandations modifiées en conséquence.

Les recommandations apportées par l'OMS en 20063, ont d'abord eu pourobjet de mettre à jour les données scientifiques, notamment épidémiologiques. Ellesapportent également des compléments visant à mieux répondre aux préoccupationsdes publics de décideurs et a été réorientée pour refléter la pensée contemporainerelative au management des risques.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Tableau 23 : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture

Catégories	Conditions de réutilisation	Groupes exposés	Techniques d'irrigation	Nématodes intestinaux ^b	Coliformes fécaux/100mL	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restrictions A1 pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics ^d	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	≤ 1	$\leq 10^d$	Série de bassins de stabilisation, réservoir de stockage et de traitement ou traitement équivalent permettant d'atteindre la qualité microbiologique escomptée
B	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt ^c	Travailleurs Population sis dans l'environnement proche	Par aspersion Par rigole d'infiltration ou par gravité Toutes	≤ 1 ≤ 1 $\leq 0.1^e$	$\leq 10^5$ $\leq 10^3$ $\leq 10^3$	Série de bassins de rétention avec un temps de séjour suffisant (8 à 10 jours) ou traitement équivalent permettant l'abattement des œufs d'helminthes et des coliformes
C	Irrigation localisée sur des cultures (f) de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Non applicable	Non applicable	Pré-traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

a : Dans certains cas, tenant compte du contexte épidémiologique, socioculturel et environnemental, ces limites sont changées en conséquence ;

b : Les espèces de *Ascaris* et *Trichuris*;

c : Durant la période d'irrigation

d : Des limites plus restrictives de moins de 200 coliformes fécaux /100 mL sont plus appropriées pour les Golfs, les hôtels et des espaces où le public peut avoir un contact direct avec les espaces irrigués.

e : Cette limite peut être augmentée à ≤ 1 œuf/l si (i) il fait chaud et sec et que l'irrigation de surface n'est pas pratiquée ou (ii) le traitement de l'eau contient aussi des traitements chimiothérapeutiques anti-helminthes.

f : Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la récolte, et aucun fruit ne doit être récolté au sol. L'irrigation par aspersion ne doit pas être utilisée.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Sans entrer dans le détail des normes de l'OMS, disons tout simplement qu'elles sont basées sur la présence de « coliformes fécaux », critère indirect pour déterminer la présence d'organismes pathogènes. En effet, bien que des microorganismes pathogènes soient détectés dans les eaux usées ou sur les plantes, cela ne se traduira pas dans tous les cas par des problèmes sanitaires causant des maladies. Autrement dit, la réutilisation des eaux usées en agriculture, qui présente un risque potentiel pour la santé humaine, ne peut constituer un risque effectif que sous certaines conditions.

Ces conditions, sont les suivantes :

- l'agent pathogène constitue une dose infectieuse;
- la dose infectieuse atteint l'hôte humain;
- l'hôte humain est infecté;
- l'infection provoque une maladie ou se transmet.

Certaines caractéristiques de l'agent pathogène et de l'hôte, permettent d'accroître le risque effectif lié à la réutilisation des eaux usées. Ces caractéristiques sont les suivantes:

- une persistance prolongée dans le milieu;
- une période de latence ou une phase de développement prolongée;
- une faible dose infectieuse;
- une faible immunité;
- une transmission simultanée minime par d'autres voies: aliments, eau, manque d'hygiène.

Alors, la réutilisation des eaux usées doit faire intervenir plusieurs acteurs et plusieurs systèmes et donc plusieurs critères. Elle ne doit pas être vue sous le seul angle microbiologique qui a tendance à limiter son extension.

Les disponibilités en eaux usées augmentent, les besoins pour l'irrigation aussi, mais la réutilisation d'une manière planifiée et durable tarde à s'implanter.

VI.3.1.1 OMS 2006

Le guide de l'OMS de 2006 considère, tout comme le guide de 1989:

- l'irrigation restrictive qui exclut les salades et légumes consommés crus,
- l'irrigation non restrictive qui inclut ces cultures.
- La restriction concernant les oeufs de parasites est maintenue à <1 oeuf de nématode intestinal par litre pour l'irrigation restrictive et non restrictive.

a. Irrigation restrictive

Ces réductions doivent être obtenues seulement par le traitement des eaux usées s'il n'existe pas d'autre moyen de protéger la santé des travailleurs.

La restriction concernant les oeufs de parasites est maintenue à <1 oeuf de nématode intestinal par litre.

Le traitement requis par l'irrigation restrictive de la directive OMS de 2006 est plus coûteux que celui nécessaire pour suivre la directive OMS de 1989 qui n'imposait que la norme sur les CF.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Tableau 24 : Mesures de contrôle

Mesure de contrôle	Réduction des pathogènes (Unités log)	Notes
Irrigation localisée	2-4	2-unités log pour des cultures à courte période de croissance 4-unités log pour des cultures à longue période de croissance
Mortalité des pathogènes	0,5-2	Mortalité après la dernière irrigation et avant la récolte (valeur dépendant du climat, de la culture, etc.)
Lavage des produits	1	Lavage des salades, légumes et fruits avec de l'eau claire
Désinfection	2	Lavage des salades, légumes et fruits avec un désinfectant faible et rinçage avec de l'eau claire
Épluchage	2	Fruits, culture racine

b. Irrigation non restrictive:

- Les réductions de pathogènes atteintes par ces mesures de contrôle sont très fiables;
- Par exemple le simple lavage des salades avec de l'eau claire produit une réduction des pathogènes de 1 unités log.

- Oublier de considérer la réduction des pathogènes par ces mesures post

- traitement est coûteux en termes d'investissement pour obtenir la même qualité d'eau.

Le traitement requis par l'irrigation non restrictive de la directive OMS de 2006 est moins coûteux que celui nécessaire pour suivre la directive OMS de 1989 qui recommandait <1000 CF par 100 ml alors que pour la directive OMS 2006, la réduction de pathogènes de 6-7 unités log peut être atteinte par un traitement moins poussé (par exemple à 104 E. Coli par 100 ml) mais complété par des mesures de contrôle posttraitement.

VI.3.2. Législation française et les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF)

La réglementation française sur la réutilisation des eaux usées épurées ne concerne que la réutilisation agricole. Il y a donc une lacune réglementaire concernant les autres usages. Les recommandations établies par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) en 1991 sont largement inspirées de celles de l'OMS, avec quelques précautions supplémentaires.

L'article 24 du décret n° 94-469 du 3 juin 1994 fait entièrement référence à la réutilisation agricole des eaux usées : « Les eaux usées peuvent, après épuration, être utilisées à des fins agronomiques ou agricoles, par arrosage ou par irrigation, sous réserve que leurs caractéristiques et leurs modalités d'emploi soient compatibles avec les exigences de protection de la santé publique et de l'environnement. Les conditions d'épuration et les modalités d'irrigation ou d'arrosage requises, ainsi que les programmes de surveillance à mettre en œuvre, sont définis, après avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France et de la mission interministérielle de l'eau, par un arrêté du ministre chargé de la santé, du ministre chargé de l'environnement et du ministre chargé de l'agriculture ».

Quant aux deux arrêtés du 22 décembre 1994, ils sont relatifs aux prescriptions techniques et à la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées. Ils donnent un avis favorable à la réutilisation des eaux usées épurées destinées à

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

l'agriculture et à l'arrosage, sous réserve du respect de certaines consignes concernant les points suivants :

- ☐ La protection des ressources en eau souterraine et superficielle.
- ☐ La restriction des usages en fonction de la qualité des effluents épurés.
- ☐ Le réseau de canalisation d'eaux usées épurées.
- ☐ La qualité chimique des effluents épurés.
- ☐ Le contrôle des règles d'hygiène applicables aux installations d'épuration et d'irrigation.
- ☐ La formation des exploitants et des contrôleurs.

VI.3.3. Normes tunisiennes de réutilisation des eaux usées

- Contrainte relative aux oeufs de nématodes intestinaux: < 1 oeuf/l.
- Irrigation de légumes consommés crus interdite, de même pour le pâturage direct sur parcelles irriguées avec des effluents.
- Peuvent être irrigués, les cultures industrielles, les grandes cultures, les fourrages, les arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion), les forêts.
- Introduction de règles relatives à la qualité chimique et à la fréquence des contrôles de la qualité des effluents.

VI.3.4. Cadre juridique Algérien

Entre 1995 et 2005, une série de réformes a repensé la mobilisation, la gestion et l'utilisation des ressources en eau en prenant en compte trois points clés :

- ☐ Les principes (cadre réglementaire, gestion intégrée, efficacité de l'eau agricole, politique tarifaire).
- ☐ Les institutions (création du ministère des Ressources en eau, des agences de bassins hydrographiques et restructuration des agences nationales et régionales).
- ☐ Les priorités (alimentation en eau potable, transferts d'eau, etc.) qui définissent la nouvelle politique nationale de l'eau.

La Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement (Ali BENFLIS, 2002) a été établie dans plusieurs chapitres, où on met en exergue « l'eau », son importance et sa pertinence.

Dans le Chapitre II (Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux), les eaux usées ont beaucoup d'importance (Art. 89). Et cela prouve que l'Algérie depuis longtemps cherche à préserver l'eau douce, en adoptant une nouvelle alternative et éviter le stress hydrique.

Le passage en revue des cadres juridique et institutionnel fournit une vision synthétique du secteur de l'eau en Algérie et permet d'apprécier les intervenus pour répondre aux dysfonctionnements constatés.

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent (JO, 2007).

Le cadre d'usage des eaux usées épurées est bien précis à travers ses décrets

- ☐ La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n° 60- année 2005).
- ☐ Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (JO n° 35 année 2007).
- ☐ Arrêté interministériel portant spécifications des eaux usées épurées,
- ☐ Arrêté interministériel portant liste des cultures à pratiquer avec les eaux usées épurées.

CHAPITRE VI: ASPECT REGLEMENTAIRE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

□ Arrêté interministériel portant laboratoires des analyses des eaux usées épurées. Une autre réglementation a été mise en oeuvre, c'est l'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées. Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée (Tableau ci dessous).

Tableau 25: Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin

(*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombent au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire. (**) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

Introduction

Les projets portant sur la réutilisation des eaux usées dans l'irrigation sont des projets à long terme, ils contribuent à la protection de l'environnement et considèrent les eaux usées comme une ressource additionnelle. Les pratiques de réutilisation doivent de ce fait, être développées dans un cadre organisé et selon une approche intégrée de la gestion des ressources en eau, qui tient compte des facteurs techniques, socio-économiques, réglementaires et environnementaux. Toutefois, ces projets requièrent d'être menés avec prudence compte tenu des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement, d'une exploitation inappropriée des eaux usées épurées.

Faire un projet de réutilisation d'eaux usées est souvent une démarche longue et délicate. Il s'agit, en effet, d'inscrire dans des paysages périurbains, encombrés et souvent très convoités, une idée sophistiquée. Dans un environnement de contraintes sanitaires, techniques et sociales, cette idée, ou plus exactement, son application doit faire la preuve de sa rationalité économique.

Dans le cas le plus général, une étude de projet peut être décomposée en trois étapes : une étude d'opportunité, une étude de faisabilité et une étude faisabilité détaillée. La structure de chacune de ces étapes est globalement la même.

Plan d'une étude de projet

<u>Objectif :</u> <i>Mobilisation d'une ressource en eau complémentaire</i>		<u>Objectif :</u> <i>Protection des milieux récepteurs</i>
Evaluation des ressources et des besoins en eau <u>Les ressources :</u> - capacité des réseaux de distribution existants, coûts de l'eau distribuée, - réserves exploitables, régularité, qualité, coûts de mobilisation <u>Les besoins:</u> - besoins actuels et potentiels (besoins municipaux hors AEP, industrie, agriculture), en quantité et en qualité.		Evaluation des besoins en assainissement <u>Etat actuel</u> - collecte des eaux usées (taux, qualité du réseau) - épuration (qualité des eaux épurées) - qualité des milieux récepteurs <u>Besoins</u> - besoins pour satisfaire aux réglementations relatives au traitement des eaux usées urbaines, et aux usages existants et potentiels des milieux récepteurs (objectifs de qualité)

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

Etude du *marché* des eaux usées

- Inventaire des usages potentiels des eaux usées: usages, localisations, quantités, qualités, contraintes
- Approvisionnements alternatifs en eau conventionnelle (coûts)
- Enquête auprès des utilisateurs potentiels d'eau usée
- Information des utilisateurs potentiels

Elaboration et étude de scénarios

Pour chaque scénario:

- Etude technique
- Etude des coûts
- Etude des impacts (positifs et négatifs)
- Etude économique

Sélection :

- *au niveau d'une étude d'opportunité ou d'une étude de faisabilité*
des scénarios pour études ultérieures plus détaillées
- *au niveau d'une étude de faisabilité détaillée,*
du projet à réaliser

VII.1. Etude d'opportunité

Cette étude est légère mais elle est essentielle. Elle est destinée à montrer, à partir des données immédiatement disponibles, si l'application du concept de réutilisation des eaux usées dans le contexte considéré a des chances d'aboutir à des programmes acceptables d'un point de vue économique. Cette première phase permet au maître d'ouvrage de décider de l'opportunité d'engager les dépenses nécessaires à une étude plus importante.

VII.2. Etude de faisabilité

Reprend, avec plus de détails les scénarios ébauchés dans l'étude d'opportunité et de nouveaux scénarios émergés de la dernière étude de marché. Les scénarios sont comparés, au moyen de l'analyse économique, avec le(s) scénario(s) sans réutilisation, afin de vérifier le bien fondé de cette dernière. Puis, ils sont comparés entre eux de manière à identifier les meilleurs. Ceux-ci constituent une sélection restreinte qui fait l'objet de l'étude de faisabilité détaillée.

VII.2. Etude de faisabilité détaillée reprend la trame de l'étape précédente, en approfondissant les rubriques insuffisamment analysées, et aboutit au choix du scénario de réutilisation. L'étude se termine par une analyse financière et l'élaboration des plans d'exécution.

Ce schéma en trois étapes est une bonne manière de doser les investissements d'étude dans un contexte où la justification de la réutilisation des eaux usées n'est pas évidente.

Il faut toujours bien garder à l'esprit que la réutilisation des eaux usées a deux aspects complémentaires: la mobilisation d'un complément de ressource en eau, et une opération d'assainissement. Réutiliser les eaux résiduaires, c'est modifier leur cours. Au lieu d'être déversées dans un milieu récepteur ordinaire, rivière, lac, étang ou

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

rivage, qu'elles polluent plus ou moins gravement, elles sont dérivées, après un traitement approprié, vers des usages qui sont le moyen ou l'occasion d'une élimination plus inoffensive de leur charge polluante résiduelle. Ces usages sont, le plus souvent, agricoles. La réutilisation des eaux usées épurées n'est pas assez exploitée comme pratique d'assainissement et de sauvegarde de la qualité sanitaire et écologique des milieux récepteurs ordinaires. Les exigences croissantes relatives à la qualité microbiologique des milieux récepteurs sensibles devraient être l'occasion de montrer qu'il y a souvent avantage à trouver d'autre destin aux eaux usées que leur rejet dans ces milieux récepteurs.

Chacun des deux aspects de la réutilisation a un poids relatif variable avec le contexte local et régional. Mais ils doivent être tous deux soigneusement pris en compte dans l'élaboration d'un projet ou d'une politique de réutilisation des eaux usées.

VII.4. Evaluation des ressources et des besoins en eau

Il y a deux manières, alternatives ou complémentaires, d'intégrer la réutilisation des eaux usées épurées dans la gestion des ressources en eau. La première consiste à affecter les eaux épurées à des usages nouveaux ou non encore satisfaits (l'extension d'un périmètre d'irrigation, la création d'espaces verts, ...); la seconde à remplacer, pour certains usages, les eaux de première main par des eaux épurées afin d'économiser la ressource d'eau de bonne qualité ou de satisfaire de nouveaux besoins. Dans les deux cas, la suite donnée à un projet de réutilisation dépend toujours d'un calcul économique qui met en balance le coût de l'utilisation de l'eau recyclée avec celui de la mobilisation des ressources en eau conventionnelles. L'inventaire des ressources en eau est donc le commencement de l'élaboration d'un projet de réutilisation d'eaux usées.

VII.4.1.Ressources en eau

Les réseaux de distribution en place, les compagnies ou les administrations qui les gèrent connaissent les débits disponibles, les risques de défaillance de l'approvisionnement et la qualité de l'eau - aussi bien physico-chimique que bactériologique.

- Les réserves en eaux superficielles ou souterraines pas ou partiellement exploitées. L'évaluation de ces ressources doit s'attacher aux points suivants :
- * La régularité des débits disponibles,
- * La qualité des eaux ; qualité physico-chimique et, le cas échéant, microbiologique;
- * Le coût de mobilisation de ces ressources. Celui-ci doit faire intervenir les coûts de captage, de régularisation, de transport (conduites ou canaux), de stockage, des traitements éventuels, les frais de fonctionnement et d'entretien. Les régimes de subvention applicables à la mobilisation des ressources en eau sont pris en compte.

VII.4.2.Besoins en Eau

Les principaux besoins en eau sont ceux des agglomérations, de l'industrie et de l'agriculture. L'élaboration d'un projet ou d'un plan de réutilisation d'eaux usées est l'occasion de faire le bilan de ces besoins et de leur évolution probable.

VII.4.2.1 Besoins des agglomérations

Les besoins en eau potable doivent être distingués de ceux correspondant à d'autres activités : le nettoyage des rues, l'arrosage des espaces verts.

Les éléments suivants doivent être pris en compte dans l'évaluation des besoins en eau potable :

- La consommation par habitant et ses variations prévisibles;
- Les prévisions d'expansion démographique;
- Les usages non domestiques pourvus par le réseau A.E.P.;
- Le rendement du réseau d'adduction.

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

- Les autres besoins des agglomérations n'exigent pas des eaux potables ; ils peuvent être satisfaits par des eaux superficielles non traitées ou par des eaux usées épurées. L'usage d'eau recyclée implique un réseau d'adduction spécialisé.

VII.4.2.2 Besoins de l'industrie

Certains besoins en eau industrielle peuvent être satisfaits avec des eaux épurées : les besoins en eau de refroidissement ou de lavage, par exemple. La qualité exigible de l'eau épurée dépend du procédé industriel mais aussi du milieu qui reçoit cette eau après son usage dans l'industrie.

VII.4.2.3 Besoins de l'agriculture

Les besoins en eau de l'agriculture constituent un marché essentiel pour les eaux usées. L'évaluation prospective de ces besoins doit être faite avec suffisamment de prudence.

Il importe d'abord de connaître les besoins en eau d'irrigation à la date de l'enquête et la manière dont ils sont satisfaits : eaux de surface, nappe, réseau d'adduction..., les taux de défaillance de ces alimentations pour raisons climatiques et la nature des cultures irriguées. Ensuite vient la partie prospective : si une nouvelle ressource en eau est proposée à l'agriculture, à quoi peut-elle être employée ? La réponse est facile à donner quand la pénurie est manifeste.

Il n'en va pas de même dans le cas contraire.

VII.5. Analyse diagnostic de l'assainissement dans la zone concernée

Cette partie recoupe le contenu de l'étude d'un schéma directeur d'assainissement.

VII.5.1 Etat de l'assainissement

L'évaluation de l'état de l'assainissement constitue un diagnostic préalable à l'évaluation des besoins en assainissement. Elle permet aussi de déterminer la ressource en eau usée.

On détermine le taux de collecte des eaux usées, les fluctuations saisonnières de population, les débits provenant d'activités industrielles et la nature de ces activités.

Les débits disponibles à la sortie des stations d'épuration font normalement l'objet de mesures.

Les eaux pluviales pourraient être réutilisées à condition d'être stockées. En effet, la principale caractéristique de cette ressource est son irrégularité. Elle n'est véritablement utilisable que si elle est régularisée par un stockage intersaisonnier. Les conditions de ce stockage doivent être soigneusement examinées, en fonction de la qualité des eaux stockées. Cette éventualité fait partie des solutions envisagées pour répondre aux réglementations récentes relatives à l'assainissement des eaux pluviales.

Un cas particulier fréquent en bordure de côte plate est celui des réseaux d'assainissement baignant dans des nappes phréatiques envahies par les eaux salées. Les défauts d'étanchéité des réseaux, partout endémiques, sont souvent aggravés, dans les zones touristiques, par les longs temps de séjour des effluents en basse saison. Les eaux usées sont alors contaminées par l'eau saumâtre. Leur réutilisation peut en être compromise.

VII.5.2. Besoins en assainissement

Il convient d'évaluer les besoins en assainissement non satisfaits, afin de déterminer comment la réutilisation des eaux usées peut s'insérer dans une politique d'amélioration de la qualité des milieux récepteurs.

Dans certaines zones, une fraction seulement de la population est raccordée au réseau. D'autre part, les stations d'épuration éliminent seulement une partie de la pollution qu'elles reçoivent. La fraction épurée est fonction du procédé de traitement et du dimensionnement de la station. La fraction non épurée est rejetée dans le milieu récepteur. Ce rejet est de nature à altérer les caractéristiques naturelles du milieu

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

récepteur et à compromettre les usages de l'eau en aval du point de rejet.

L'élaboration d'un plan de réutilisation d'eaux usées est l'occasion d'évaluer, avec les administrations compétentes, l'impact de l'assainissement sur les milieux récepteurs et de chiffrer le coût des mesures à prendre pour satisfaire aux différentes normes relatives aux rejets des eaux usées et à la qualité des milieux récepteurs.

VII.5.3. Etude du marché des eaux usées

L'étude du marché des eaux usées sert, pour le moins, à mettre en évidence les contraintes liées à l'exploitation des eaux usées. Elle consiste, pour le plus, à faire l'inventaire détaillé des usages possibles des eaux réutilisables et des contraintes respectives afférentes. Elle constitue l'indispensable base de l'élaboration des scénarios.

Elle est composée des éléments énumérés ci-après :

VII.5.3.1. Inventaire des usages potentiels d'eaux usées

Cet inventaire résulte de l'identification, parmi les besoins en eau, de ceux qui peuvent être satisfaits par des eaux usées traitées : irrigations de terres agricoles, d'espaces verts, usages industriels, usages municipaux, ... usages auxquels il faut ajouter des opérations plus spécifiques, comme les recharges de nappe ou l'aquaculture, par exemple. Ces usages potentiels sont localisés, les usagers identifiés et les volumes utilisables évalués. Les contraintes relatives à ces usages sont relevées :

- Les contraintes de qualité physico-chimique spécifiques de chaque usage;

Les contraintes de qualité microbiologique,

Les autres contraintes, réglementaires ou non, relatives à la protection de l'environnement : règles relatives à l'émission d'aérosols (distance par rapport aux habitations et aux lieux fréquentés par le public, restriction à des irrigations nocturnes,...).

VII.5.3.2-Approvisionnements alternatifs en eau douce

Cette partie, essentielle pour les analyses économiques ultérieures, consiste à estimer les coûts correspondant à la satisfaction par les eaux douces (de première main) des besoins précédemment identifiés. Ces estimations relient le marché des eaux usées au marché de l'eau en général; elles permettent, entre autres données, de décider s'il est préférable ou s'il est seulement possible, d'un point de vue économique, d'approvisionner ces usages par de l'eau réutilisée.

VII.5.3.3. Enquête auprès des usagers potentiels d'eau usée

Au stade de l'étude de faisabilité ou de faisabilité détaillée, l'étude de marché comporte une enquête auprès des utilisateurs potentiels. Les informations suivantes sont collectées

- Les usages spécifiques envisagés pour les eaux usées;

- La nature des usagers (administration, entreprises publiques ou privées, municipalités, coopératives, particuliers,...);

Estimation des besoins actuels et futurs; évaluation critique de ces estimations;

- Qualité requise pour ces usages;

- Modification des infrastructures existantes pour les adapter aux eaux usées et aux dispositions réglementaires correspondantes, coûts de ces modifications;

- Participation de l'usager à ces coûts, modification des coûts de fonctionnement;

- Délai d'amortissement souhaité, économies désirées sur le coût de l'eau;

- Risques de modification de l'occupation des sols;

- Disposition des usagers à utiliser les eaux usées traitées, dans l'immédiat et dans un avenir plus lointain.

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

VII.5.3.4. Information des usagers potentiels

Dans la phase des études de faisabilité, les usagers potentiels doivent être suffisamment informés des contraintes relatives à l'usage des eaux recyclées, de la qualité de l'eau qui leur sera fournie, de la fiabilité de la ressource, et des modifications éventuelles des coûts, des tarifs ou redevances liés à l'approvisionnement en eau.

VII.6. Etude des scénarii

A partir des données de l'étude du marché des eaux usées et des évaluations des ressources en eau et de l'assainissement, des scénarios sont élaborés. Chaque scénario fait l'objet d'une analyse plus ou moins poussée selon qu'il s'agit d'une étude d'opportunité, de faisabilité ou de faisabilité détaillée. L'organisation de cette analyse est la suivante :

- Etude technique;
- Etude de coût;
- Etude d'impact;
- Analyse économique.

VII.6.1. Etude technique

Les scénarios font l'objet d'un avant-projet sommaire (APS) complet, avec :

- les études préalables nécessaires, géotechniques, hydrogéologiques, pédologiques,
- le dimensionnement des ouvrages,
- l'élaboration de toutes les informations nécessaires à une évaluation pertinente des coûts.

VII.6.2. Etude des coûts

Elle consiste à évaluer les coûts d'équipement et de fonctionnement, à partir des éléments fournis par l'étude technique. Elle est assortie d'une estimation des incertitudes propres à ces chiffres.

VII.6.3. Etude d'impact

Dans le cadre d'une étude de faisabilité, une étude d'impact doit aller au delà du respect des termes de références, elle doit aussi produire les éléments chiffrés qui permettent d'intégrer l'impact du scénario de réutilisation dans son analyse économique.

On distingue les impacts positifs, relatifs à l'amélioration de la qualité des milieux qui recevaient les eaux usées avant la réutilisation, et les impacts négatifs sur les nouveaux milieux récepteurs mis en jeu par la réutilisation.

A. Impacts positifs

Les impacts positifs de la réutilisation sur l'environnement sont évalués dans la perspective de l'analyse économique. L'expression qualitative des avantages liés à l'amélioration de la qualité des milieux récepteurs (d'avant la réutilisation) est relativement aisée. C'est l'énumération des usages et des jouissances qui sont rétablis du fait du détournement du rejet des eaux usées : production d'eau potable, baignade, promenade, pêche, etc.. Mais il est difficile de traduire ces avantages en termes économiques. Une autre approche consiste à évaluer l'amélioration des milieux récepteurs à travers le coût des traitements et des travaux qui auraient permis de satisfaire aux normes relatives aux usages rétablis du fait de la réutilisation.

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

B. Impacts négatifs

Les impacts négatifs doivent être évalués. Si des ressources en eau sont susceptibles d'être polluées, le coût de leur réhabilitation, si elle est nécessaire, ou celui de la mobilisation de ressources de remplacement, doivent être estimés.

Les principaux impacts négatifs concernent la contamination des nappes d'eau souterraine par les nitrates, les pathogènes, les micro-polluants.

VII.6.4. Analyse économique

A chaque scénario s'attachent, d'une part, des coûts, (C), liés au traitement, à l'acheminement, au stockage, et à la distribution de l'eau épurée, et d'autre part, des avantages, (A). Ceux-ci sont constitués par les bénéfices directs, (Bd) de la réutilisation, d'une part, et par les impacts, (I), de la réutilisation, d'autre part. La différence entre les coûts et les avantages appelés bénéfice net, (Bn) :

$$(Bn) = (Bd) + (I) - (C)$$

Les coûts, (C), incluent les investissements, le fonctionnement et la maintenance des équipements. Ils prennent aussi en compte les frais de formation des utilisateurs, d'information du public, les frais d'encadrement, de suivi et de contrôle.

Les bénéfices directs, (Bd), sont mesurés par la valeur de l'eau déterminée par référence au coût de l'eau conventionnelle, exprimé

- En termes de coût marginal (coût d'exploitation et d'entretien des installations existantes) là où l'eau est abondante.
- Par son coût marginal à long terme (coût de l'eau qui proviendra de nouvelles ressources),

Par son coût additionnel moyen (correspondant spécifiquement aux dépenses des nouveaux projets), dans les situations où l'eau est rare.

La valeur de l'eau peut aussi être exprimée par son prix de vente, quand il existe un marché de l'eau.

Cependant, la valeur de l'eau peut conduire à surévaluer les bénéfices directs d'une réutilisation. C'est le cas, par exemple, quand l'eau usée sert à la création d'une ceinture verte, qui n'aurait pas été envisagée en d'autres circonstances. Le bénéfice peut être alors affecté d'une correction représentant l'intérêt porté par la population à cette réalisation.

L'impact (I) se décompose en impacts positifs (I') et en impacts négatifs (I''), tels que définis au paragraphe précédent.

Chaque terme du second membre de l'équation précédente est calculé et actualisé; C'est à dire que les flux de coûts et d'avantages ou de bénéfices sont escomptés à une même année de référence, en général celle du commencement du projet. Le bénéfice net, (Bn) est alors calculé.

Les bénéfices nets de chaque scénario sont comparés à ceux correspondant à la satisfaction des mêmes besoins par des eaux de première main (scénario sans réutilisation), puis comparés entre eux. Le meilleur scénario est, théoriquement, celui qui maximise le rapport bénéfice net / coût, (Bn)/(C), et les bénéfices nets. Mais d'autres facteurs doivent être pris en compte:

- Les impacts non quantifiables,
- L'insertion de la réutilisation des eaux usées dans l'économie locale ou régionale et dans les schémas d'aménagement du territoire dont l'aménagement des eaux n'est qu'une composante.
- La rentabilisation des infrastructures existantes,
- Les incertitudes qui s'attachent à la demande d'eau et aux différents termes qui entrent dans le calcul des coûts et des avantages,

CHAPITRE VII: TECHNIQUES D'ELABORATION DE PROJETS DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

- Des considérations d'ordre social ou politique : capacité à régler les problèmes d'assainissement sur le territoire de sa propre commune ou celui du district urbain ou, au contraire, nécessité d'utiliser le territoire des collectivités voisines, mise en jeu de zones naturelles protégées ou susceptibles de l'être ou encore de paysages importants pour l'activité touristique présente ou potentielle, degré de contraintes du point de vue l'aménagement de l'espace (possibilités d'extension de l'urbanisation...).

Une autre façon de présenter les choses, en particulier quand la réutilisation constitue l'essence d'un scénario d'assainissement en compétition avec d'autres scénarios d'assainissement, consiste à évaluer le coût net de l'assainissement du m³ d'eau, (Cn) :

$$(Cn) = (C) - (Bd) - (I')$$

(I') : les impacts positifs, au-delà de l'objectif de l'assainissement, susceptibles d'être pris en compte dans l'analyse économique et les impacts négatifs éventuels. Souvent, ce terme est négligé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- BEAUDRY, J.P. et SAINTE F. Traitement des eaux. Éd. du Griffon d'Argile, 1984.
- BONTOUX, J. Introduction à l'étude des eaux douces... Tec & Doc Lavoisier, 1993.
- BOUAROU DJ Sara 2012. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, thèse de Magistère en Écologie, soutenue en 2012.
- DESJARDINS, R. Traitement des eaux. Éd. École Polytechnique de Montréal, 1997.
- DEGRÉMON, T. – Mémento technique de l'eau. Tec & Doc Lavoisier, 1989.
- FAO. L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, p65, 2003.
- Fuller G.W. Board Irrigation in sewage disposal. New York, Mc Graw – Hill, 1912.
- GOMELLA, (C. et GUERRÉE H. Traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Eyrolles, 1978.
- JEAN RODIER. L'Analyse de l'eau, Editions DUNOD, 8ième édition, 1996.
- Juanico .M. Reservoirs for Wastewater Storage and Reuse, Ecology, Performance and Engineering Desing, 1999.
- PUIL C. La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém.D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 62 p, 1998.
- SATIN et SELMI. Guide Technique de l'Assainissement, Editions Le Moniteur, 2ième édition, 1999.