

Chapitre 4 : méthode de dépollution et remédiation des eaux polluées

4.1 L'épuration des eaux usées :

Introduction :

Epurer les eaux usées, c'est dans la mesure du possible, éviter au milieu extérieur de subir les conséquences néfastes de l'activité humaine. Tout était prévu dans la nature pour qu'elles soient remis en circuit, les constituants des molécules hautement perfectionnées dont sont bâtis les êtres vivants. Mais l'homme doit prévoir la même possibilité pour les molécules qui, dans un premier temps, ont été conçues pour résister au plus possible d'agents naturels, (teintures, Lessives, conserves, etc...) tous ces produits se retrouvent peu, dans les eaux usées. Ils sont alors confiés au spécialiste de l'épuration qui est sommé de les faire disparaître, en Prenant à son compte une foule de paramètres (débits, pH, température) susceptibles d'évoluer dans des fourchettes relativement larges, la principale sujétion de l'épuration des eaux usées et de garantir la qualité d'un produit fini (eau traitée et boues) quelle que soient les Caractéristiques et le débit d'une matière qu'il est tenu de prendre toujours en totalité.

4.2. Généralités sur l'épuration :

L'épuration d'une eau usée résiduaire comportera logiquement les opérations suivantes :

- Retirer les éléments les plus gros, débris organiques ou minéraux de dimension notable.
- S'attaquer aux matières en suspension de densité suffisamment différente de l'eau en jouant sur cette différence pour qu'une séparation effective se produise en peu de temps.
- Assurez l'élimination de la pollution restante constituée de matières colloïdales ou dissoutes, en accélérant la destruction naturelle de ces éléments par action de bactéries en présence d'oxygène.
- Eventuellement éliminer les pollutions résiduelles pouvant être gênantes en aval : germes pathogènes, azote, phosphore, ...etc., par des moyens spécifiques.

Ces quatre phases constituent les prétraitements, les traitements primaires avec principalement la décantation, le traitement secondaire, généralement biologique et le traitement tertiaire. ⁽⁴⁾ Cette démarche est logique, elle va du plus simple et moins coûteux au plus compliqué, les techniques mises en œuvre déroulent de ce que l'on constate dans la rivière, sédimentation, attaque des éléments biodégradables. L'accélération des processus sert à réduire les volumes nécessaires grâce à des temps de réaction plus rapides et permet d'arriver à des coûts acceptables. Cette combinaison judicieuse entre la recherche de la compacité des traitements et la complication des ouvrages et des procédés variera sensiblement suivant les conditions locales (place disponible à un coût acceptable,

valeur de l'énergie, capacité des exploitants) (Figure 20). Le traitement consiste finalement en l'élimination de matières polluantes ou en la transformation de ces matières en matières non polluantes.

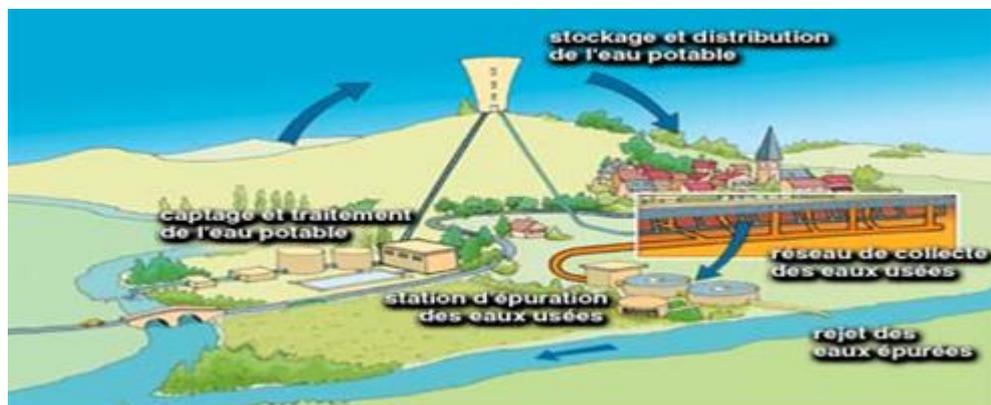


Figure20 :Schéma type d'évacuation des eaux usées et les eaux pluviales

4.3. Epuration des eaux usées

4.3.1. Le prétraitement :

Les composantes du traitement préliminaire :

Dégrillage, dessablage, dégraissage et déshuilage ont une triple fonction :

- Protéger les équipements aval contre le colmatage, le blocage de certaines pompes, ou encore éviter des conditions médiocres d'aération (avec les graisses).
- Protéger le milieu récepteur contre des risques esthétiques ou des dépôts intempestifs, ou la formation de filtre d'huile gênant la re-aération naturelle (Figure3). On notera la nécessité d'évacuer correctement les produits retirés de l'eau.

1-Le dégrillage :

Les grilles comportent toujours des barreaux de 8 à 15 mm d'épaisseur équidistants et situés dans un plan perpendiculaire au plan défini par la direction du courant et la verticale (Figure 20).

Le plan de grille peut être vertical ou incliné. Suivant l'écartement des barreaux, on distinguera les grilles grossières (écartement 10cm) qui généralement protègent une grille moyenne (1.5 à 2.5 cm) ou fine.

Les grilles grossières comportent souvent un raclage manuel alors que les autres, notamment les fines, disposent généralement d'un nettoyage mécanique compte tenu de l'accumulation de matières qu'elles occasionnent.

Le dimensionnement des grilles est fait de façon à ce que la vitesse horizontale dépasse 30 cm/s pour éviter la sédimentation des matières organiques, et que la vitesse entre les barreaux soit

inférieure à 100cm/s pour éviter que les déchets arrêtés ne soient entraînés. Au fur et à mesure que se produisent les dépôts, la perte de charge s'accroît (de 10cm à 40 cm), ce qui permet le déclenchement automatique du système de nettoyage par un râteau mécanique (Figure 20).

2-Le dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de surcharger les stades de traitement suivants. Il concerne les particules de plus de 200 microns, les éléments les plus fins étant éliminés par décantation (Figure 21).

3-Le déshuilage –Le dégraissage :

Une meilleure efficacité nécessite un dégraisseur-déshuileur séparé. L'aération de fait dans une zone spéciale, et la sédimentation dans une zone tranquille calculée pour une vitesse ascensionnelle de 15/20m/h, au maximum 25m/h (figure 21).

Le temps de séjour est de l'ordre est de 3 à 5 minutes, le débit d'air est de 4 à 8m³/h par m³ de capacité de l'ouvrage, On peut dans ces conditions récupérer plus de 80% des matières grasses et flottantes, Leur évacuation est faite par raclage mécanique en surface

4.3.2. Le traitement primaire :

Il consiste en une décantation dans un ouvrage bétonné qui permet un temps de séjour de l'ordre de deux heures, la vitesse de surverse (quotient du débit horaire par la surface) est souvent de l'ordre de 1 à 2 m/h, leur forme est en général circulaire mais les appareils rectangulaires donnent aussi satisfaction, les boues décantées sont reprises par des racleurs de fond, parfois munis de pompes suceuses, ils comprennent toujours un racleur de surface pour l'évacuation des matières flottantes (figure 21).

4.3.3. Le traitement secondaire :

Le traitement secondaire se poursuit dans quatre décanteurs circulaires secondaires qui ont la tâche de séparer les micro-organismes de l'eau épurée.

La boue de micro-organismes est recueillie au fond des décanteurs secondaires et l'eau épurée se déverse à la périphérie pour être acheminée à l'émissaire dans la rivière (figure 21)

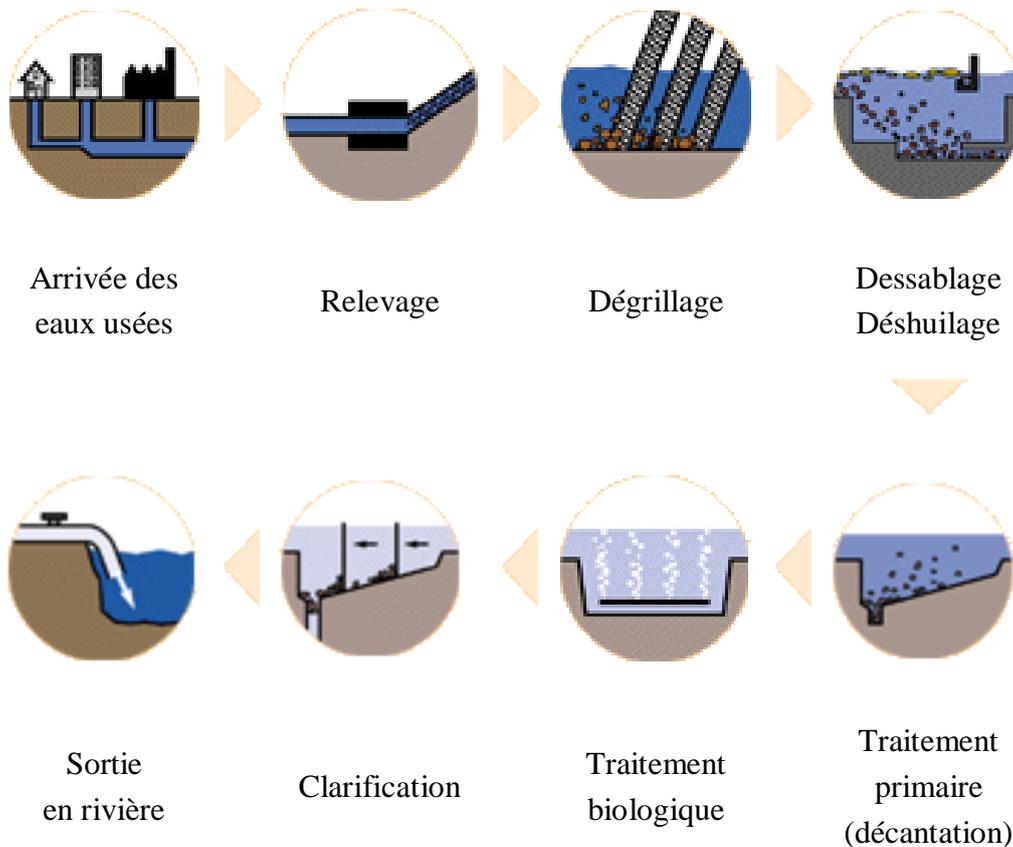


Figure21 : Les étapes et procédés de traitement des eaux usées .

Durée de la décantation secondaire : 7 heures la boue secondaire est recerclée à l'entrée des bassins d'aération pour retourner au travail en aération. Chaque micro-organisme peut faire 4 à 5 fois par jour le tour du traitement secondaire. Etant donné que ces micro-organismes semultiplient et qu'il faut garder leur nombre à un niveau constant, il faut prélever une certaine quantité de boue à chaque jour. Ce sont les boues en excès les quelles sont pompées dans les décanteurs primaires. Le traitement secondaire a pour but l'élimination, le maximum de la DBO et de la DCO de la façon la plus efficace et la plus rapide et on utilise les réactions aérobies en s'efforçant de les activer grâce à l'oxygène fourni en abondance. On cherche à augmenter le rapport du nombre de microorganismes au poids de la nourriture disponible (Tableau 36).

4.3.4. Traitement tertiaire :

C'est l'élimination de l'azote par anaérobiose (Périodique ou non) qui semble appelée au meilleur avenir. Toutefois plusieurs stations envisagent une filtration sur lit de sable pour écrêter les pointes de M.E.S, donc de DBO₅ et de DCO, la vitesse choisie est rarement inférieure à 8 m/h (Tableau 34).

Tableau 36 : Natures des procédés dans les phases de traitement.

| Phases de traitement | Procédé utilisé | Nature du procédé |
|------------------------------|-------------------------------|--|
| Prétraitement | Dégrillage | Physique |
| | Dessablage | Physique |
| | Dégraisseur | Physique |
| | Déshuileur | |
| | Avec ou sans aération | |
| Traitement primaire | Décantation simple | Physique |
| | Décantation avec floculation | Physique+chimique |
| Traitement secondaire | Traitement à bactéries fixées | Physique+biologique |
| | Boues activées | Physique+biologique+chimique (O ₂) |
| | Lagunage simple | Biologique+physique. |
| | Lagunage aéré | Physique+biologique+chimique |

4.4. Les techniques intensives d'épuration

4.4.1. Les lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée, il s'agit d'apporter l'O₂ nécessaire au maintien de bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent à contre-courant à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux(Figure 22).

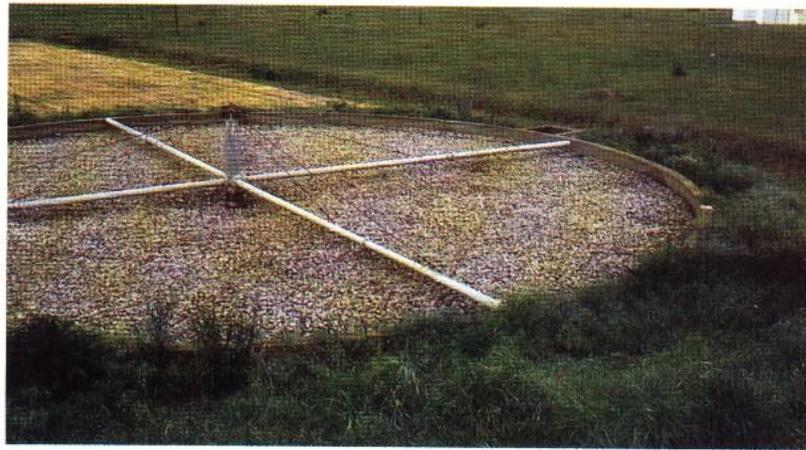


Figure 22 : Lit bactérien, remplissage

4.4.2. Les boues activées :

Dans cette technique schématisée (figure 23), les micro-organismes restent en suspension dans l'eau, notamment les levures et bactéries qui assurent l'essentiel de l'épuration. La séparation par la décantation en serait toutefois très difficile si des organismes supérieurs notamment des protozoaires n'assuraient leur rassemblement sous forme de flocons ou floes, séparables dans un décanteur. Les phénomènes entrant en jeu dans le bassin d'activation sont de la même famille que ceux qui se produisent en rivière, mais accélérés par la prolifération des bactéries. L'ensemble des floes qui se développent dans l'eau épurée sont séparés dans un décanteur. La vitesse ne doit pas dépasser 2.5 m/h, et 1 m/h. en aération prolongée. Comme on le verra ci-dessous, elle dépend de l'indice de Mollman. Le clarificateur comporte plusieurs points de collecte des boues (ouvrages à suction) qui les amène à des fosses d'où elles sont recyclées.

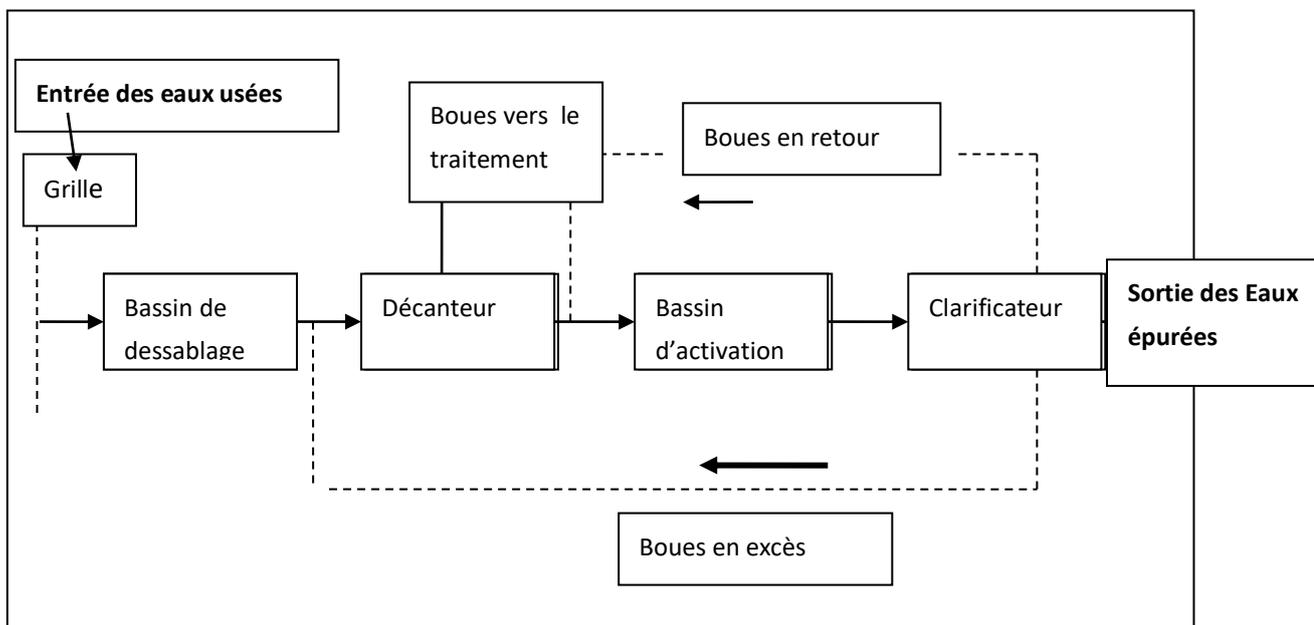


Figure 23 : Schéma d'une station de traitement traditionnel par boues activées.

Les boues en excès sont mélangées avec les boues du décanteur primaire pour être envoyées au traitement des boues, une partie des boues extraites est renvoyée vers le bassin d'activation pour maintenir une population bactérienne élevée, le taux de circulation est déterminé en fonction de la charge massique de la teneur en matières solides du bassin, il peut varier de 0.5 à 3, mais reste souvent autour de 1, la charge massique est définie comme le rapport suivant :

$$CM = \frac{\text{Masse de DBO}_5 \text{ éliminée journallement}}{\text{Masse de boues présentes dans le bassin}}$$

4.4 3. La bio filtration :

Cette technique est surtout utilisée pour le traitement des eaux urbaines lorsque se pose un problème d'encombrement. Elle utilise comme support un matériau granulaire qui assure d'une part, la rétention des matières en suspension par filtration et d'autre part, la fixation d'une biomasse épuratoire, L'air est insufflé par le bas, l'eau peut être introduit par courant ascendant ou descendant suivant la technique utilisée. Les micro-organismes adhérents à chaque grain sous la forme d'un film biologique épurateur.

4.5. Les techniques extensives :

Les techniques dites extensives sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse.

Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

4.5.1. Cultures libres :

Principe en jeu :

Le processus d'épuration par « cultures libres » repose sur le développement d'une culture bactérienne, de type aérobie principalement, l'oxygène provient de diverses sources selon les filières.

La culture bactérienne est ensuite séparée de l'eau traitée par mécanisme de sédimentation dans un ouvrage, le plus souvent, spécifique (clarificateur, lagune de décantation ...).

4.5.1.1. Lagunage naturel :

Principe de fonctionnement :

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière, ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées micropyles. Ce cycle s'auto entretient tant que le système reçoit tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique, un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.

4.5.1.2. Lagunage aéré :

Description générale :

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de ce système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW / kg DBO₅ éliminée).

Grands mécanismes en jeu :

Dans l'étage d'aération, les eaux à traiter sont en présence de micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments constitués par la pollution à éliminer, ces micro-organismes sont essentiellement des bactéries et des champignons (comparable ceux présents dans les stations à boues activées).

Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume trop important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de by-pass er séparément pour procéder à leur curage.

En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit :

- A une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis.

- Une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée.

4.6. Cultures fixées

4.6.1. L'infiltration- percolation sur sable :

L'infiltration percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible, Une autre variante intéressante de l'épuration par le sol est constituée par les filtres à sable horizontaux ou verticaux enterrés. Ces techniques utilisées avant tout, pour les situations relevant de l'assainissement autonome restent intéressantes pour l'assainissement autonome regroupé concernant quelques centaines d'équivalents habitants, Pour un filtre à sable verticale enterré, un dimensionnement de 3.5 m²/hab. est nécessaire est une alimentation basse pression recommandé (figure 24).

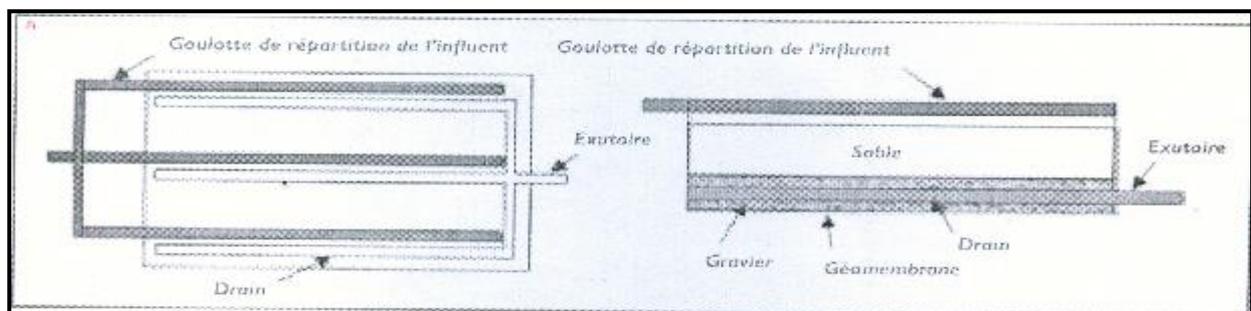


Figure 24 : Infiltration percolation étanchée et drainée.

4.6.2. Les filtres plantés à écoulement vertical :

Principe de fonctionnement :

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou du sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter. Contrairement à l'infiltration –percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre, il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexations...) et biologique (biomasse fixée sur support fin).les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos (figure 25). Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué d'oxygène est apportée par

convention et diffusion, l'apport d'oxygène par les racelles des plantes est ici négligeable par rapport aux besoins.

La filière se compose :

- D'un dégrillage.
- D'un premier étage de filtres verticaux
- D'un second étage de filtres verticaux. ⁽⁵⁾

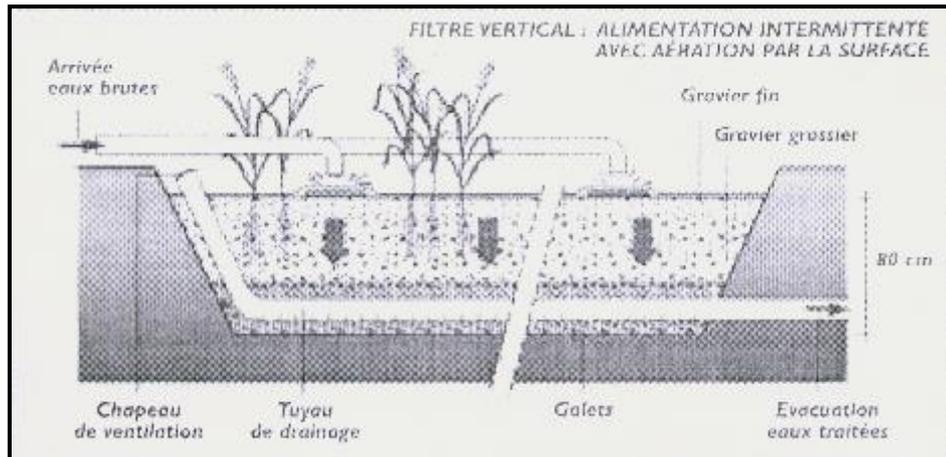


Figure 25 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.

4.6.3. Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal :

Principes de fonctionnement :

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau, l'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin, il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontale au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continue car la charge organique apportée est faible (Figure 25).

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes, ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation, le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5cm sous la surface du matériau, en effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement, il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insectes.

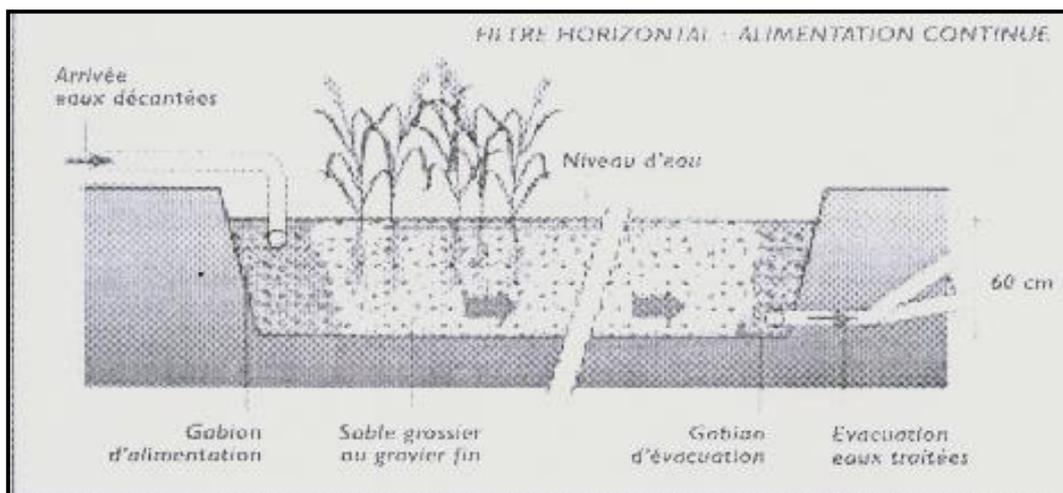


Figure 26 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal.

1. Réalisation des systèmes d'épuration :

Le code des eaux amendées en 1996 stipule que « toutes les agglomérations de plus de 100.000 habitants doivent disposer impérativement de procédés et de systèmes d'épuration des eaux usées ». Les agglomérations de cette catégorie sont aujourd'hui au nombre de 32 avec une population totale de plus de 7 millions d'habitants, par ailleurs, la réalisation des systèmes d'épuration doit obéir à des objectifs de qualité dans les cours d'eau, les barrages les nappes ou sur le littoral, c'est-à-dire dans un espace géographique

(Le bassin hydrographique) qui dépasse les limites administratives, C'est dans ce cadre que les priorités devront être définies.

2. Le Lagunage :

Si l'épuration des rejets des grandes agglomérations et des industries est à peu près matérialiser par des techniques classiques, il n'en est pas de même pour ceux des secteurs d'habitats dispersés, et des petites collectivités. L'adaptation de ces techniques est en effet d'autant plus difficile que la taille des collectivités à desservir est faible ou soumise à d'importantes variations saisonnières.

En réponse à ce problème, le lagunage naturel comme procédé d'épuration des eaux résiduaires, s'avère une solution adéquate et efficace, le lagunage est un procédé naturel de traitement biologique des eaux usées dont le principe est de maintenir et de faire circuler dans des bassins étanches une tranche d'eau, exposé en permanence à l'air libre, l'efficacité de cette technique pour l'élimination des germes pathogènes, sa simplicité d'exploitation et sa bonne intégration au milieu rural ont amené le procédé .

Dans le cadre du programme de relance économique une première phase de 08 stations de lagunage, ont été inscrites en études

4.7. La réutilisation des eaux usées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

4.7.1. Les principales voies de réutilisation

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel (Figure 26),

Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain (Tableau 35).

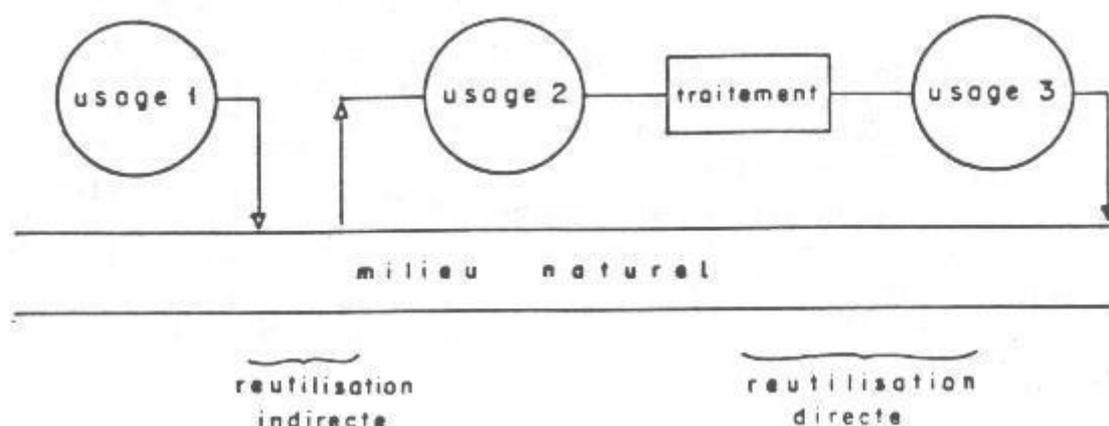


Figure 26 : schéma de la réutilisation directe et indirecte des eaux usées

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvre respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau.

La **Figure 27** résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud

Tableau 37 : types de réutilisation : exigences de mise en œuvre et de gestion

| | Application | Exigences | Facteurs déterminants |
|--------------------|--|---|---|
| Potable | Production indirecte d'eau potable • Production directe d'eau potable | <ul style="list-style-type: none"> • Etude des risques sanitaires • Qualité de l'eau (pathogènes) • Traitement avancée • Dilution avec de l'eau naturelle | <ul style="list-style-type: none"> • Manque d'eau et sécheresse • Autonomie en eau • Réapprovisionnement des nappes • Augmentation de la population • Contraintes de réglementation • "Pénurie d'eau" • Pas d'alternative (Windhoek) • Aide publique (Denver) |
| Non potable | Irrigation en agriculture - cultures maraichères - arbres fruitiers - cultures industrielles - aquaculture Activités récréatives - augmentation des cours d'eau pour la pêche, natation, etc. Utilisations industrielles - eau de refroidissement - eau de process Utilisations urbaines - irrigation de parcs, écoles - golfs, cimetières, résidences - protection incendie - recyclage en immeuble | <ul style="list-style-type: none"> • Impact sur le sol • Qualité de l'eau (pathogènes, salinité) • Traitement secondaire et désinfection • Qualité de l'eau (pathogènes) • Qualité de l'eau (pathogènes, salinité) • Traitement avancé • Qualité de l'eau (pathogènes) • Systèmes de distribution double • Augmentation de la population • Traitement tertiaire et désinfection | <ul style="list-style-type: none"> • Manque d'eau et sécheresse • Alternative au rejet des effluents • Réduction de coût • Valeur fertilisante • Manque d'eau et sécheresse • Amélioration de l'environnement • Prix de l'eau • Autonomie d'eau • Manque d'eau et sécheresse • Politique de réutilisation des pouvoirs publics • Normes de rejet contraignantes • Amélioration de l'environnement |

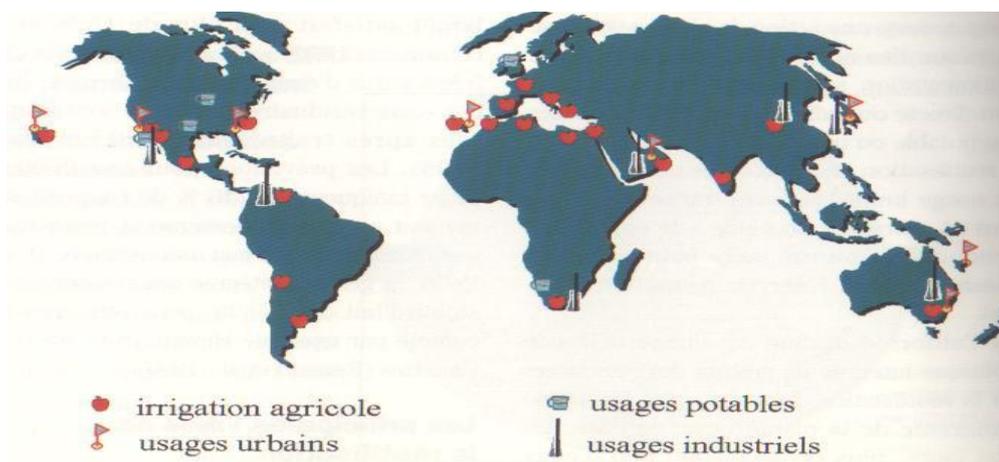


Figure 27 :répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

4.7.2 Le secteur agricole

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation des eaux améliore les rendements des cultures et apporte des bénéfices financiers.

Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures. Il existe deux grands groupes de normes : les recommandations de l'OMS (1989) et la réglementation californienne « titre 22 » (1978). L'objectif principal est d'éliminer les risques sanitaires. Ainsi, pour l'irrigation sans restriction, la pollution microbiologique des eaux usées utilisées doit, selon l'OMS, rester au-dessous de 1 000 coliformes fécaux (CF)/100 ml et moins de 1 œuf d'helminthe/l. Le « Titre 22 » californien fixe des restrictions plus sévères, voire l'absence totale de germes-tests : moins de 2,2 coliformes totaux (CT)/100 ml. Dans certains pays, les normes sont draconiennes pour les végétaux destinés à la consommation. Ainsi, l'Afrique du Sud exige une qualité d'eau potable pour cette application ; l'état d'Arizona a introduit l'absence de virus comme nouveau paramètre microbiologique (Figure 28).

Dans les pays où les normes existantes sont très sévères (Australie, Etats-Unis, certains pays du Moyen-Orient), un traitement secondaire est obligatoire, et parfois, en sus, un traitement tertiaire.

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme.

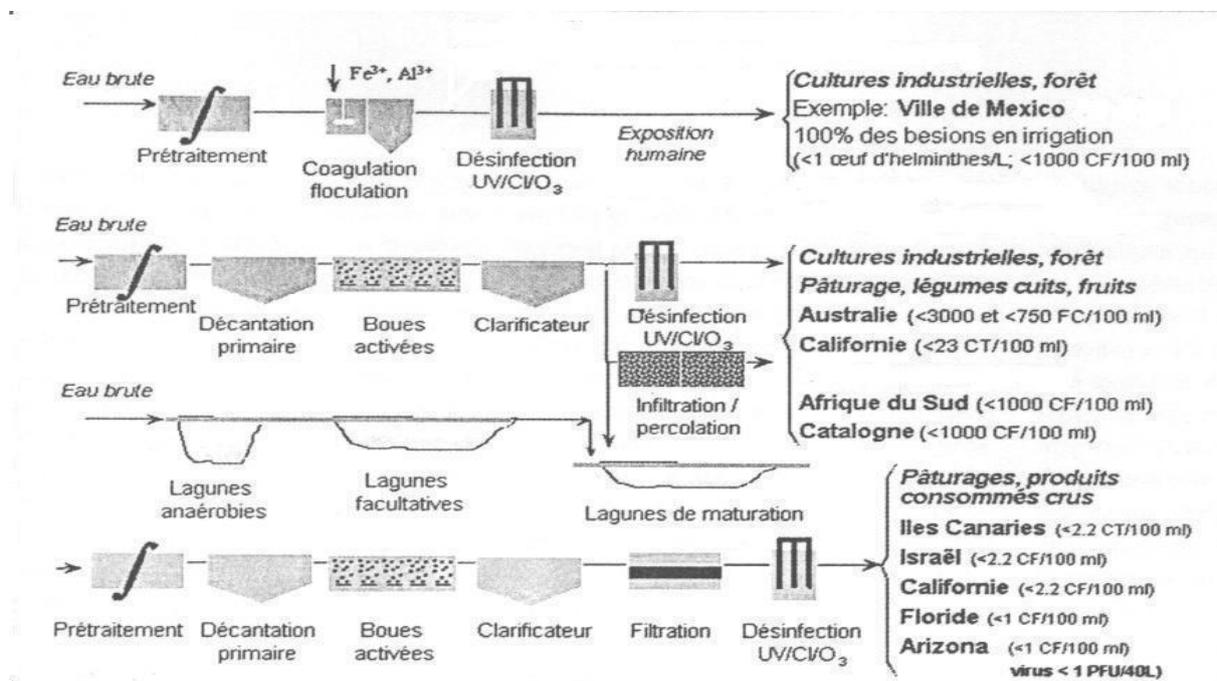


Figure 28 : principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines

En France, l'abondance des ressources en eau ne favorise pas le développement d'une telle réutilisation des eaux usées. L'expérience actuelle se limite à des projets de faible taille (irrigation jusqu'à 320 ha), situés surtout dans les zones côtières de l'Atlantique (par exemple Pornic pour

l'irrigation de golfs) et de la Méditerranée (par exemple Montpellier pour l'irrigation de cultures) .L'application qui connaît l'expansion la plus importante reste l'irrigation des golfs.

L'expérience de Mexico City apparaît comme le plus important projet de réutilisation des eaux usées au niveau mondial Presque 100 % des eaux usées brutes de la capitale mexicaine (de 45 à 300 m³/s par temps de pluie) sont réutilisées pour l'irrigation de plus de 85 000 ha de diverses cultures agricoles.

Aux Etats-Unis, la réutilisation agricole est une pratique très répandue. 34 états disposent de réglementations ou de recommandations, souvent très sévères. Ces mesures législatives, et plus de trente ans d'expérience, font des Etats-Unis un pays phare au plan mondial dans le domaine de la réutilisation des eaux usées. En Floride et en Californie, respectivement 34 % (340 000 m³/j) et 63 % (570 000 m³/j) du volume total d'eaux usées réutilisée le sont pour l'agriculture 'usine de réutilisation de West Basin (Californie) (capacité finale 270 000 m³/j), gérée par United Water Services, filiale de Suez Lyonnaise des Eaux, a développé le plus vaste programme de réutilisation basé sur des technologies de pointe et des usages diversifiés :

70 % de l'effluent sont réutilisés pour l'irrigation agricole après un traitement type Titre 22 (filtration tertiaire et désinfection), une partie de l'eau traitée est destinée à la réutilisation industrielle après élimination complémentaire de la pollution azotée par la bio filtrationBifore,

Une partie de l'effluent sert même à la production d'eau potable.

Après l'extension prévue de l'usine, celle-ci deviendra la plus importante des Etats-Unis

4.7.3. Le secteur industriel

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle. La part des eaux usées urbaines ne dépasse pas 15% du volume des eaux réutilisées en industrie. Aux Etats-Unis, par exemple, le volume des eaux résiduaires réutilisées en industrie est d'environ 790 000 m³/j, dont 68 % pour le refroidissement Le sector urbain et périurbain

4.7.4. Réutilisation pour un usage non-alimentaire

Les usages urbains et périurbains des eaux usées correctement traitées se développent rapidement et deviennent un élément fondamental de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes agglomérations Plusieurs municipalités du Japon (pionnier des pays en voie de développement : 8 % du volume total des eaux usées réutilisées soit environ 8 millions de m³ par an) et des villes des

Etats-Unis ont déjà construit des systèmes de distribution double : eau potable et eaux usées à réutiliser.

Les bénéfices obtenus sont importants. Il faut noter en premier, la réduction de la demande en eau potable qui peut atteindre 10-15 %, voire 40 % dans les zones résidentielles avec beaucoup d'espaces verts. Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Une autre application importante est le recyclage en immeuble avec, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage des sanitaires. Les normes qui régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines à celles en vigueur pour l'eau potable.

Pour les usages urbains, l'Afrique du Sud et l'Australie sont les pays dont les normes sont les plus sévères. Ils exigent respectivement une qualité d'eau potable et l'élimination totale des virus. Dans ce cas, les filières de traitement se rapprochent de celles de production d'eau réutilisée pour des usages potables.

4.7.5. Réutilisation pour un usage alimentaire (eau « potable »)

Le progrès technologique du métier de l'eau permet de produire une eau de très bonne qualité, même à partir des eaux usées. De nombreuses études ont conclu à l'absence d'objection pertinente à la réutilisation des eaux résiduaires correctement traitées à des fins potables. Toutefois, les principales contraintes pour ce type d'usage sont psychologiques et culturelles associées à la perception de l'eau usée comme dangereuse et malsaine. De ce fait, la tendance principale aujourd'hui est l'usage indirect, après un séjour temporaire de l'eau usée traitée dans le milieu naturel. En fonction de la destination de l'eau réutilisée, ce type de réutilisation peut être classé soit dans la catégorie de réutilisation potable, soit pour des usages non potables. Dans le premier cas, il faut souligner l'impact psychologique très positif de ce détour par le milieu naturel qui permet à l'eau destinée à la réutilisation de perdre son identité d'eau usée.

4.8. Production directe et indirecte d'eau potable à partir d'eaux usées

4.8.1. Production directe

L'unique exemple historique de production directe d'eau potable à partir des eaux usées est celui de l'usine de Windhoek, en Namibie. Plusieurs projets de démonstration de production directe d'eau potable à partir des eaux résiduaires urbaines ont été menés à Denver aux Etats-Unis, à Capetown en Afrique du Sud, à Sao Paulo au Brésil et à Mexico City. Selon différentes études, la qualité de l'eau produite aux Etats-Unis à partir d'effluents secondaires est meilleure que celle de bien des ressources naturelles de surface. Les études épidémiologiques indiquent l'absence de risques microbiologiques et toxicologiques.

4.8.2. Production indirecte

Le stockage intermédiaire des eaux usées (en partie assainies) peut s'effectuer dans des nappes phréatiques, des lacs ou des réservoirs artificiels. Le taux de dilution des eaux usées réutilisées avec l'eau des ressources naturelles varie de 16 à 40 %. Aucun impact négatif sur la santé humaine de ce type d'eau réutilisée n'a jamais été détecté.

Le premier objet de production indirecte d'eau potable à partir des eaux usées en Europe a été mis en place en 1997 dans la région d'Essex (Grande Bretagne) par la société Essex & Suffolk Water. Plus de 35 000 m³/j d'eaux usées traitées sont mélangées aux eaux de surface (taux de dilution maximale de 37 %) et envoyés dans le réservoir d'eau potable d'Hanninglied. Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées a été mis en place (virus, œstrogènes), complété par de nombreuses études d'impacts sur l'environnement et la santé publique.