



N° Réf :.....

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf –Mila-

Institut des Sciences et de Technologie

Département de sciences et Technique

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
en Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques

Thème

L'utilisation des eaux usées traitées en irrigation

Préparé par :

Dirigé par : kabour.A

- Boudraa Lotfi
- Boutouatou abd essatar
- Dhimi rima

Année universitaire : 2014/2015

Sommaire

<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
Objectifs.....	1
Avantages et limites de la réutilisation de l'eau usée.....	2
<u>2 EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU USEE TRAITEE POUR L'IRRIGATION</u>	3
2.1 Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées.....	3
2.1.1 Traitement des eaux résiduaires.....	3
2.1.2 Traitement et considérations de la qualité des eaux usées.....	4
2.1.3 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation.....	5
2.2 Critères de qualité biologique.....	15
<u>3 IRRIGATION AVEC L'EAU USÉE TRAITÉE</u>	17
3.1 Méthodes d'irrigation.....	17
3.1.1 Méthodes (traditionnelles) de surface.....	17
3.1.2 Méthodes d'irrigation sous pression.....	17
3.1.3 Choix du système d'irrigation.....	18
3.2 Quantités d'eau et programmation des irrigations.....	19
3.3 Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement.....	21
3.3.1 Choix des cultures pour la protection sanitaire.....	22
3.4 Restrictions des cultures basées sur la composition chimique des eaux usées.....	24
3.5 Contrôle de l'exposition humaine aux déchets et de l'hygiène.....	24
3.6 Conclusion	25
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	26
<u>REFERANCE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	27

Liste des tableaux

Tableau 2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).

Tableau 3 : Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées (adapté de FAO, 1985)

Tableau 4 : Tolérances relatives des plantes au bore dans l'eau d'irrigation (adapté d'Ayers, 1977)

Tableau 5 : Charge maximum en éléments traces permise sur les terres agricoles en kg/ha.an (adapté de Biswas, 1987).

Tableau 6 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation

Tableau 7 : Apport de nutriments pour diverses quantités d'eau d'irrigation appliquées

Tableau 8 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992)

Tableau 9 : Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989)

Tableau 19 : Évaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990)

Tableau 20 : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989)

Tableau 21 : Besoins en eau de quelques cultures (adapté de FAO, 1992)

Liste des figures

Figure 1 : les étapes d'épuration des eaux usées.....5

Figure 2 : Organigramme pour montrer la transmission potentielle des microbes pathogènes et les points de rupture des flux de pathogènes produits par diverses mesures de protection (Blumenthal et al., 1989).....23

Introduction générale

La population du monde a augmenté considérablement et le besoin en nourriture et en eau croît continuellement. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en augmentant simplement l'approvisionnement en eau et/ou en développant l'agriculture. Aujourd'hui cette solution s'approche de ses limites naturelles. Dans un certain nombre de pays, la consommation réelle de l'eau s'approche rapidement des limites des ressources disponibles.

Par ailleurs, les terres agricoles deviennent rares. Pour la plupart des pays, l'eau est ainsi devenue le facteur principal limitant leur développement et constitue un défi économique, social et politique important. Par conséquent, l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles et la gestion globale de l'eau de façon efficace et efficiente, sont devenues des problèmes urgents dans la plupart des pays du monde. L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides des régions, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables. Les déchets solides sont moins utilisés et plus difficiles à être appliqués. Des précautions sont donc nécessaires à cause de la charge des boues résiduelles en métaux lourds et en œufs de parasites.

L'utilisation de l'eau usée traitée et des boues résiduelles, au-delà de leurs effets positifs, peut également avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée et des boues, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation. La pollution du sol et des eaux souterraines et de surface est parmi les inconvénients potentiels les plus importants de l'utilisation d'eau usée traitée. Cependant, du point de vue rigoureusement scientifique, la planification rigoureuse et la gestion efficace des régimes d'irrigation ou de fertilisation peuvent réduire au minimum ces inconvénients, à un niveau dont les effets environnementaux sont insignifiants. Pour cette raison, il est important de fournir aux agriculteurs l'information requise pour les aider à améliorer la gestion de l'eau usée traitée, utilisée pour l'irrigation, et des déchets solides, servant à la fertilisation. C'est maintenant possible grâce aux informations et à l'expérience considérable acquises au niveau régional, au travers de projets de réutilisation menés avec succès. Dans ce manuel une tentative est faite pour :

- consolider la connaissance et l'expérience acquises sur la réutilisation dans les pays.
- fournir des conseils de bonnes pratiques agricoles dans une approche de gestion intégré.

Objectifs

La récupération et la réutilisation de l'eau usée s'est avérée être une option réaliste pour couvrir le déficit en eau et les besoins croissants en eau dans les pays, mais aussi pour se conformer aux règlements relatifs au rejet des eaux usées, en vue de la protection de l'environnement et de la santé publique. En outre, du point de vue environnemental, la

récupération et la réutilisation de l'eau usée urbaine traitée pour l'irrigation constituent probablement l'approche d'élimination la plus sûre et la plus réaliste.

Les données de recherche disponibles, l'expérience de gestion et le savoir-faire, accumulés pendant ces dernières années, ont été utilisés dans la préparation de ce manuel. La différence, par rapport aux autres manuels sur le traitement et la réutilisation des eaux usées, réside en ce qu'il est censé fournir aux utilisateurs, en particulier les agriculteurs, des recommandations, des directives et des procédures de gestion afin d'optimiser la production végétale dans une approche respectueuse de l'environnement. À cet égard, ce manuel fournit des mesures préventives intégrées d'une gestion des problèmes potentiels. Plus spécifiquement, le présent manuel a les caractéristiques suivantes:

- Il est écrit d'une manière simple, la littérature dans le texte étant limitée;
- Il présente les aspects légaux, institutionnels et autres avec concision;
- Il développe longuement les aspects agronomiques intéressant l'agriculteur comme l'irrigation, la fertilisation, le choix des cultures, etc.

Les aspects concernant la planification, la conception, l'opération et l'entretien des stations d'épuration des eaux résiduaires ne sont pas couverts. Le manuel suppose que l'eau usée traitée d'une certaine qualité est déjà disponible pour l'irrigation. Il propose, au travers des "Bonnes Pratiques Agricoles" (BMP - Best Management Practices), la manière de réaliser les meilleurs résultats sur une base durable. La FAO espère qu'il contribuera résolument à la réutilisation efficace et sûre de l'eau et qu'il garantira la durabilité en combinant la protection publique et environnementale avec les avantages économiques.

Quelques avantages et limites de la réutilisation de l'eau usée

L'eau usée et d'autres eaux de mauvaises qualités sont importantes dans le contexte de la gestion globale des ressources en eau. En libérant des ressources d'eau douce pour l'approvisionnement domestique et d'autres usages prioritaires, la réutilisation apporte une contribution à la conservation de l'eau et de l'énergie et améliore la qualité de la vie. L'eau usée peut avoir des résultats agronomiques positifs. D'ailleurs, les systèmes d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, à côté de rendements agricoles accrus. Cependant, la réutilisation de l'eau usée peut également avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique.

Chapitre 1

2-EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU USEE TRAITEE POUR L'IRRIGATION

L'eau usée est unique du point de vue composition. Les constituants physiques, chimiques et biologiques qui s'y trouvent doivent être pris en considération. Dans ce chapitre, les problèmes sont brièvement présentés ; par contre, les solutions sont mises en évidence.

Quelques approches intégrées de gestion seront présentées afin d'atténuer et/ou surmonter ces problèmes.

2-1Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées

Les constituants importants dans l'eau usée sont donnés en annexe I. Il reste que pour une approche de gestion appropriée, les constituants principaux qui préoccupent les agriculteurs des pays sont :

- **les matières solides** en suspension, puisque la filtration peut être nécessaire, en particulier avec des systèmes de micro-irrigation;
- **les nutriments** afin d'ajuster la fertilisation;
- **la salinité** afin d'estimer la fraction de lessivage et sélectionner les cultures les mieux appropriées;
- **les micro-organismes pathogènes** pour les mesures de précaution, en choisissant le modèle d'emblavement et le système d'irrigation appropriés.

2.1.1 Traitement des eaux résiduaires

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

-le traitement préliminaire : Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute.

-le traitement primaire : Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants.

-le traitement secondaire : Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires.

-le traitement tertiaire et/ou avancé : Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques.

Le traitement biologique naturel le plus largement répandu est le lagunage (ou étangs de stabilisation), qui peut être conçu pour réaliser différents degrés de traitement des eaux usées.

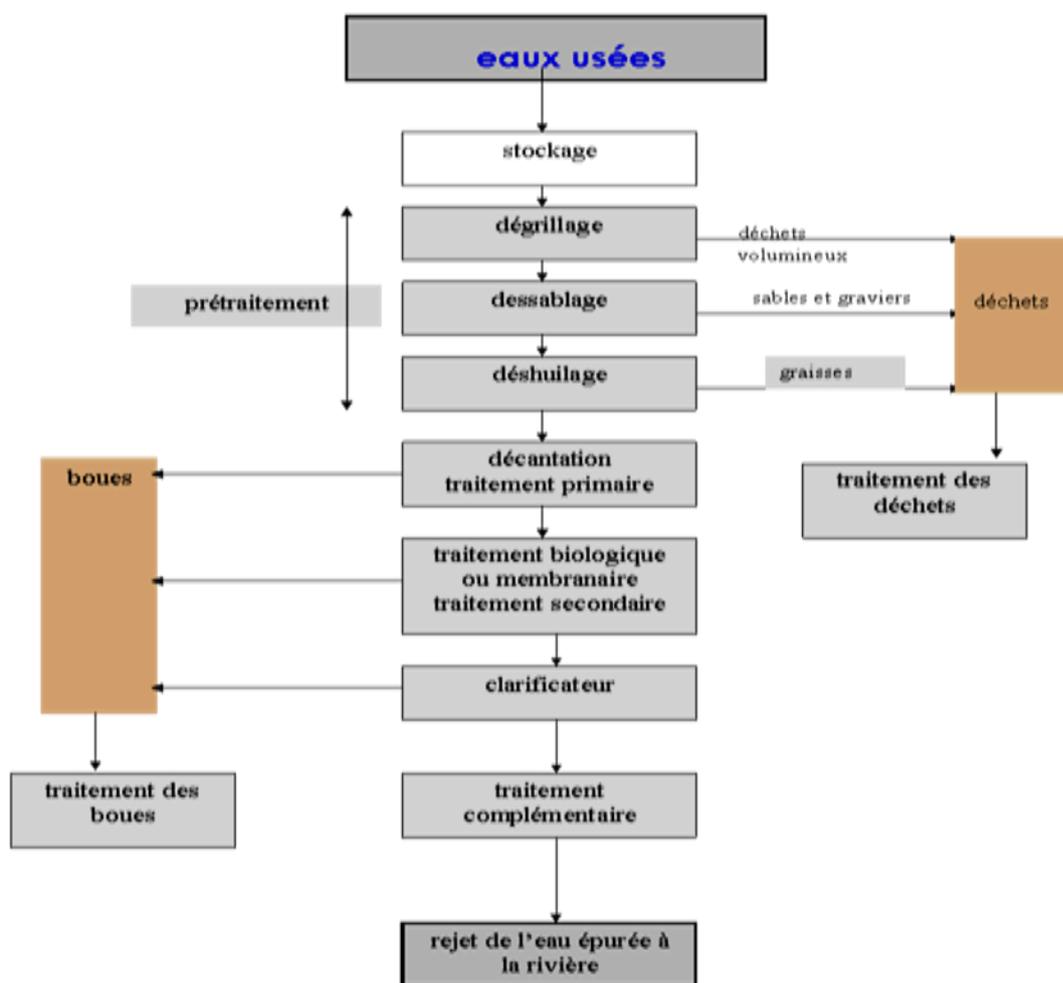
Le système se compose de trois phases :

- **les bassins anaérobies** : ayant normalement des berges en terre, d'une profondeur comprise entre 2 et 5 m, fonctionnant comme une fosse septique ouverte et produisant du gaz libéré dans l'atmosphère;
- **les bassins facultatifs** : également formés de berges en terre, où des réactions biologiques aérobies peuvent avoir lieu dans la couche moyenne par les bactéries facultatives;
- les bassins de maturation : produisant un traitement tertiaire et une réduction des microbes pathogènes plus poussée.

2.1.2 Traitement et considérations de la qualité des eaux usées

Dans une approche intégrée du traitement et de l'utilisation des eaux usées en irrigation, la fiabilité du traitement et le contrôle continu sont fortement recommandés puisque ceux-ci sont hors contrôle de l'agriculteur. Dans la planification et l'exécution de nouveaux projets d'épuration et de réutilisation des eaux usées, l'application prévue de réutilisation devrait régir le degré de traitement exigé et la fiabilité du processus de traitement des eaux résiduaires et de l'exploitation de la station d'épuration. Cependant, dans les stations d'épuration existantes, la qualité de l'effluent traité est déjà connue et les agriculteurs sont obligés de modifier leur pratique en fonction de la qualité de l'eau qui leur est fournie. En général, dans les pays, il n'y a pas du tout d'intervention au sujet de la composition chimique de l'eau usée traitée. À cet égard, les approches de gestion proposées aux agriculteurs pour alléger les problèmes potentiels sont la plupart du temps présentées et discutées.

Figure 1 : les étapes d'épuration des eaux usées



2.1.3 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées dans le tableau 2 peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques. La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux.

Salinité

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en

conditions de pénurie en eau, la salinité peut être un problème. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et Westcot, 1985).

Tableau 2. Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985)

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC _w ¹	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration				
SAR ² =0 - 3 et EC _w =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
=3 - 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
=6 - 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
=12 - 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
=20 - 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)				
Irrigation de surface	még/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
effets divers				
Azote (NO ₃ -N) ³	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	még/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Gamme normale 6.5 - 8.4		

➤ **pour surmonter le problème de la salinité au niveau de la ferme, plus d'importance doit être donnée aux approches suivantes :**

a) Choisir des cultures tolérantes à la salinité de l'eau usée: Le tableau 3 peut aider les agriculteurs à choisir le système de culture le plus approprié en fonction de la salinité de l'eau usée et de la tolérance des cultures en sels. Avec une salinité inférieure à 3 dS/m et une bonne gestion, la plupart des fruits et des légumes peuvent être produits. Lorsque la salinité augmente, le choix des cultures devient difficile et, excepté certains légumes, le choix est la plupart du temps limité aux fourrages verts.

b) Choisir des cultures tolérantes au sel ayant la capacité d'absorber des quantités élevées de sels : sans subir d'effets toxiques particuliers (cultures extractrices de sels). En cas d'irrigation avec une eau usée traitée de salinité élevée, dans les zones à pluviométrie limitée et lessivage naturel favorable, des cultures extractrices de sels peuvent aider à réduire l'accumulation de sels dans le sol et permettre ainsi une réutilisation durable à long terme. Les cultures recommandées sont le sudax, le sorgho, le chiendent pied de poule et l'orge.

Tableau 3. Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées (adapté de FAO, 1985)

Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (dS/m, et mg/l)*					
<2 <1280	2-3 1280-1920	3-4 1920-2560	4-5 2560-3200	5-7 3200-4480	>7 >4480
Citrus	Figues	Sorgho	Soja	Carthame	Coton
Pommes	Olives**	Arachide	Palmier dattier***	Blé	Orge
Pêche	Brocoli	Riz	Phalaris aquatique	Betterave sucrière	Agropyre
Raisins	Tomates	Betteraves	Trèfle	Rye Grass	
Fraise	Concombre	Fétuque	Artichauts	Orge des rats	
Pommes de terre	Cantaloup			Chiendent pied de poule	
Poivrons	Pastèques			Sudax (sorgho hybride)	
Carottes	Epinards				
Oignons	Vesce commune				
Haricot	Sorgho du Soudan				
Maïs	Luzerne				

* 1dS/m = 640 mg/l

** des niveaux de EC beaucoup plus élevés ont été rapportés (jusqu'à 6 DS/m) pour des olives en Tunisie

*** des niveaux plus élevés de EC ont été également rapportés pour des palmiers dattiers en Algérie (jusqu'à 7-8 DS/m).G. Abdel-Gawad, Acsad

c) Choisir un système d'irrigation : permettant une application uniforme de l'eau, une efficacité élevée et offrant la possibilité d'irriguer fréquemment. Avec les systèmes d'irrigation pressurisés, en particulier avec les systèmes goutte-à-goutte et mini sprinklers, le niveau admissible de salinité des cultures irriguées peut être plus élevé. Avec de tels systèmes, les directives concernant la tolérance à la salinité des cultures (Maas, 1974) sont seulement des évaluations sommaires. De meilleurs rendements peuvent être obtenus avec ces niveaux critiques lorsqu'on emploie de façon appropriée les systèmes d'irrigation modernes (Goldberg et al. 1971; Papadhópoulos et al., 1987).

d) Programmer les irrigations : Le volume d'eau d'irrigation et la fréquence d'application sont deux facteurs déterminants pour contrôler la salinité. Avec des systèmes goutte à goutte, l'irrigation peut être plus fréquente et la salinité du sol à proximité de la plante irriguée peut ainsi être maintenue à un niveau plus bas.

e) Le lessivage : est une pratique régulièrement utilisée par les agriculteurs mais n'est probablement pas la meilleure solution en cas de pénurie d'eau, de drainage insuffisant ou de nappe peu profonde. A long terme, la quantité totale de sels appliquée dans le sol avec les eaux usées (sel 'in') et la quantité de sels éliminée par lessivage et prélevée par les cultures, (sel 'out') devraient être approximativement identiques. La sélection de l'assolement cultural et la gestion efficace de l'eau usée en irrigation interviennent de façon importante dans l'élimination des sels (Papadhópoulos, 1991). Les cultures extractrices de

sels qui ont une valeur économique comme le sudax (sorgho hybride) et le sorgho donnent de bons résultats. Il est recommandé de cultiver des cultures consommatrices de sels chaque année ou périodiquement.

f) Des polymères et/ou d'autres conditionneurs : de sol efficaces sous certaines conditions en cultures de plein champ ne sont pas recommandés. Leur demi vie est habituellement courte et leur prix élevé.

g) Drainage : Une des mesures nécessaires pour prévenir la remontée de la nappe et la salinisation induite par l'irrigation en régions arides et semi-arides est l'installation d'un réseau de drainage. Le drainage, en combinaison avec une irrigation appropriée permet le lessivage des sels en excès hors de la zone racinaire.

Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation. L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR – Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité. Par conséquent, le SAR et EC_w (salinité) devraient être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels (Rhodes, 1977).

➤ **les solutions suivantes de gestion sont recommandées :**

a) Amendements chimiques : L'utilisation d'amendement calcique, tel que le gypse, est largement admise pour l'amélioration des sols ayant un pourcentage élevé en Na par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) ou chaque fois que de l'eau à haut SAR est utilisée pour l'irrigation. Le sodium du sol est échangé par le calcium du gypse et la dispersion de la phase colloïdale se réduit. L'application du gypse devrait être répétée périodiquement en fonction du contenu en Na de l'eau et à la CEC du sol. Les agriculteurs doivent s'informer auprès des professionnels pour estimer la quantité et la fréquence d'application du gypse.

b) Système d'irrigation adapté : La formation de croûte à la surface de sol est le résultat de l'irrigation avec de l'eau à SAR élevé. Le degré de gravité du problème, cependant, n'est pas le même avec tous les systèmes d'irrigation. En général, les systèmes d'irrigation de surface avec de l'eau à SAR élevé créent une croûte de surface épaisse. Des résultats identiques sont obtenus avec des arroseurs à haut débit. La perméabilité du sol ainsi que son aération et la germination des graines en sont affectées. Avec des mini-arroseurs et des goutteurs de faible débit, la formation de croûte en surface est réduite, la durée de l'irrigation est

prolongée et l'eau peut pénétrer lentement dans le sol (Papadhópoulos et Stylianou, 1988a).

c) Matière organique : Le problème d'alcalinité peut également être résolu par l'addition de matière organique comme la paille, d'autres déchets végétaux et du fumier organique.

Toxicité spécifique des ions :

Les ions les plus toxiques rencontrés généralement dans l'eau usée traitée sont le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B) qui cause la plupart des cas courant de toxicité. Le bore est un des éléments essentiels aux cultures; cependant, les concentrations de B excédant 0,5 mg/l peuvent être toxiques aux cultures sensibles (tableau 4).

➤ **les mesures recommandées pour surmonter la toxicité des ions :**

- Avec des cultures sensibles au bore, il est difficile d'apporter des corrections sans changer la culture ou l'approvisionnement en eau (Ayers, 1977). Pour de l'eau contenant des teneurs élevées en bore, il est nécessaire de choisir des cultures qui peuvent tolérer cette concentration.
- Le lessivage peut aider à maintenir la concentration en bore dans le sol à un niveau comparable à celui d'une eau classique utilisée pour *l'irrigation* (Bernstein et François, 1973). Selon le sol, une certaine quantité supplémentaire d'eau d'irrigation est habituellement ajoutée aux besoins d'eau d'irrigation estimés
- Les irrigations fréquentes diluent le bore dans la solution du sol.
- Avec l'utilisation de la micro-irrigation, l'application de l'eau pourrait être plus uniforme et la fréquence des irrigations pourrait également être contrôlée.

Tableau 4. Tolérances relatives des plantes au bore dans l'eau d'irrigation (adapté d'Ayers, 1977)

Sensible (1 mg/l)	Semi tolérant (2 mg/l)	Tolérant (3 mg/l)
Citrus	Haricot	Carotte
Avocat	Paprika	Laitue
Abricot	Tomate	Chou
Pêche	Maïs	Oignon
Cerise	Olives	Betterave à sucre
Raisin	Radis	palmier dattier
Pomme	Potiron	Asperge
Poire	Blé	Navet
Prune	Pomme de terre	
Fraise	Tournesol	

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 en ces éléments dans les eaux domestiques. Avec une gestion appropriée de l'irrigation (système d'irrigation, fréquence d'irrigation, lessivage), les effets

toxiques peuvent être réduits significativement, à des niveaux ne présentant aucune vraie contrainte pour la réutilisation.

Eléments traces et métaux lourds

C'est le problème principal avec la réutilisation des eaux usées traitées dans les pays ayant une industrie lourde. Les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires {cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn)} peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter les cultures irriguées.

Ces métaux, dans la plupart des cas, s'accumulent dans la plante et peuvent affecter de façon défavorable les humains ou les animaux domestiques se nourrissant de ces plantes. Pour cette raison, beaucoup de pays développés ont établi des charges maximum admissibles en métaux lourds sur les terres agricoles. Le problème des métaux lourds est discuté plus en détail en liaison avec les boues résiduaires. Biswas (1987) a rapporté la charge en métaux lourds admise sur les terres agricoles dans quelques pays européens (tableau 5).

Tableau 5. Charge maximum en éléments traces permise sur les terres agricoles en kg/ha.an (adapté de Biswas, 1987).

Pays	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg	Ni	Zn
France	5.4	210	360	210	2.7	60	750
Allemagne	8.4	210	210	210	5.7	60	750
Pays-Bas	2.0	120	100	100	2.0	20	400
Angleterre	5.0	280	1000	1000	2.0	70	560

Les concentrations limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation sont présentées au (tableau 6).

Tableau 6. Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation^a

Constituent	Utilisation à long terme ^b (mg/l)	Court terme ^c (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Béryllium	0.10	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

^a Adapté de: Académie nationale des sciences - National Academy of Engineering (1973)

^b Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

^c Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

Fertilisants dans les eaux usées traitées

Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Les nutriments constituent une caractéristique spécifique de l'eau usée traitée qui intéresse particulièrement les agriculteurs. Pour cette raison, un code de bonnes pratiques agricoles en matière de fertilisation est développé et présenté dans ce manuel. Il est supposé donner une nouvelle dimension à l'utilisation raisonnée, profitable et saine de l'eau usée traitée utilisée en irrigation.

Valeur nutritive de l'eau usée traitée

Les solides en suspension et les éléments colloïdaux et dissous présents dans l'eau usée contiennent des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes.

Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constitue ainsi une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale.

Les nutriments se trouvant en grandes quantités dans l'eau usée, et qui sont importants en agriculture et en gestion des paysages sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. D'autres macro- et micronutriments peuvent également être présents. En outre, la présence de matière organique dans l'eau usée peut, par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol.

Pour l'évaluation correcte de la capacité nutritive de l'eau usée, basée sur son analyse chimique, les valeurs reprises dans le tableau 7 pourraient être employées.

Tableau 7. Apport de nutriments pour diverses quantités d'eau d'irrigation appliquées

Eau d'irrigation m ³ /ha.an	Concentration d'un nutriment dans les eaux usées (mg/l)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	50
	Quantité de nutriments ajoutée (kg/ha.an)								
1000	5	10	15	20	25	30	35	40	50
2000	10	20	30	40	50	60	70	80	100
3000	15	30	45	60	75	90	105	120	150
4000	20	40	60	80	100	120	140	160	200
5000	25	50	75	100	125	150	175	200	250
6000	30	60	90	120	150	180	210	240	300
7000	35	70	105	140	175	210	245	280	350
8000	40	80	120	160	200	240	280	320	400
9000	45	90	135	180	225	270	315	360	450
10000	50	100	150	200	250	300	350	400	500

Pour certaines cultures, aucun engrais additionnel n'est nécessaire. Par contre, lorsque les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité.

La teneur en azote :de l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l. L'azote dans l'eau usée traitée peut dépasser les besoins des cultures. La connaissance de la concentration en N dans l'eau usée et la gestion appropriée de la charge en NPK sont essentielles pour surmonter les problèmes associés à une éventuelle concentration élevée en N.

Le phosphore :dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure.

Le potassium :contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O). Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.

Autres nutriments :La plupart des eaux usées contiennent habituellement des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Une attention particulière doit être portée au bore. L'eau usée traitée contient assez de bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément. Cependant, lorsque cet élément se trouve en excès, il peut provoquer des problèmes de phytotoxicité. Le tableau 4 peut aider les agriculteurs à choisir des cultures en fonction de leur tolérance au bore. Pour surmonter le problème de B, les mesures correctives similaires aux sels fortement solubles sont recommandées (choix de la culture, lessivage, programme des irrigations, et système d'irrigation). En général, au sujet du bore, les agriculteurs devraient se rappeler ceci:

- les arbres fruitiers sont plus sensibles au B que les légumes,
- en cas de concentration relativement élevée de B dans les eaux usées, les cultures annuelles doivent être privilégiées.

Charge nutritive en NPK :

La concentration en N et P dans les eaux usées traitées secondaires peut varier sensiblement selon la source d'eau usée primaire et le procédé de traitement. Les concentrations en N et P des installations de traitement conventionnelles, sont habituellement plus élevées qu'en lagunages aérés et en fossés d'oxydation. En général, N et P sont réduits par le traitement mais la concentration en K reste approximativement identique au niveau trouvé dans l'eau usée brute.

Les quantités en N, P et K appliquées par hectare avec une irrigation de 1000 mm d'eau usée ayant une concentration telle que montrée au tableau 8 sont donnés dans ce même tableau.

Évidemment, l'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée. Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins en eau des cultures.

Tableau 8. Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992)

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

De telles quantités d'engrais fournissent la totalité ou plus de N normalement requise pour certaines cultures ainsi qu'une grande partie du P et du K. A cet égard, chaque culture doit être considérée séparément pour estimer les besoins en éléments fertilisants supplémentaires. Dans certains cas, les nutriments dans l'eau usée peuvent être en quantité supérieure à celle nécessaire à la croissance équilibrée des cultures et peuvent potentiellement stimuler une croissance excessive des parties végétatives des cultures plutôt que les fleurs et les graines. Cela peut être un problème pour des cultures comme le tournesol, le coton et quelques fruits. En cas d'excès de nutriments, un système de culture et/ou un mélange approprié d'eau usée traitée à de l'eau douce, pour réduire l'application de fertilisants, sont des méthodes conseillées.

➤ **Contrôle du problème de l'excès en N dans l'eau usée :**

a) Estimer la concentration de N. L'analyse chimique de l'N élémentaire est requise. Sur la base de cette analyse, l'agriculteur pourrait calculer la quantité d'N supplémentaire à apporter au sol par l'utilisation d'eau usée. Cette quantité devrait être soustraite de la quantité d'engrais nécessaire aux cultures. Pour une évaluation facile, le fermier devrait se rappeler que :

1 ppm (partie par million) = 1 mg/l = 1 g/m³ dans l'eau d'irrigation

Par conséquent, la quantité d'N et d'autres nutriments appliqués au sol avec l'eau usée dépend de la quantité d'eau d'irrigation apportée à la culture. Les agriculteurs devraient être formés aux techniques d'irrigation avec des eaux usées.

b) Choisir la culture en fonction du contenu en N des eaux usées : Le choix de la culture en fonction du contenu en N des eaux usées traitées est nécessaire pour deux raisons :

- **faire la meilleure utilisation possible de l'N des eaux usées :**

Si la quantité d'azote présente dans l'eau usée n'est pas suffisante, un supplément d'engrais est alors nécessaire pour atteindre un rendement cultural satisfaisant. En application à long terme de l'eau usée, les apports d'N devraient être ajustés pour compenser le prélèvement de N par la récolte, augmentés des pertes du système par volatilisation et lixiviation. Les besoins des cultures en N, P et K sont donnés dans les chapitres suivants.

- **Eviter la pollution par les nitrates :**

Certaines cultures sont très efficaces pour prélever l'azote du sol, qui peut éventuellement être lessivé en profondeur sous forme de NO₃-N et contaminer l'eau de la nappe. Les graminées telles que l'herbe du Soudan (sorgho herbacé – *Sorghum vulgare* var. *sudanense*), l'herbe des Bermudes (chiendent pied-de-poule – *Cynodon dactylon*), l'herbe de Sudax (sorgho hybride), et de Rhodes prélèvent efficacement l'N du sol. Ces cultures sont efficaces dans l'élimination des nitrates pour les raisons suivantes:

- elles ont la capacité d'accumuler le nitrate;
- plusieurs coupes sont possibles dans une saison, de sorte qu'une plus grande production de la culture peut être atteinte;
- leur contenu en nitrate ne diminue pas avec l'âge;
- ce sont des cultures à enracinement profond.

c) Établissement du programme de l'irrigation : Etant donné que les nutriments sont régulièrement présents dans l'eau usée traitée, toute quantité d'eau d'irrigation qui dépasse les besoins de la culture peut créer un problème. Le problème peut être environnemental et/ou agronomique. Les agriculteurs doivent se rappeler que l'irrigation avec de l'eau usée requiert le suivi strict du programme d'irrigation.

- **Quantité d'eau :** Les cultures doivent être irriguées selon leurs besoins en eau. On pourrait noter, que puisque la quantité d'eau d'irrigation diffère d'un endroit à l'autre, à cause des conditions climatiques, les nutriments dans l'eau usée peuvent s'y trouver en excès ou en

Concentration inadéquate pour une même culture dans des conditions de fertilité du sol identiques. De même, des eaux usées de même qualité peuvent avoir des impacts environnementaux défavorables en un endroit et être adéquats autre part. Pour cette raison, il est difficile de donner des valeurs absolues pour la fertilisation avec l'eau usée, contrairement à ce qui se passe avec l'eau claire.

- **Fréquence des irrigations :**

Les agriculteurs doivent également savoir qu'en pleine période de croissance, la quantité d'eau d'irrigation doit toujours être identique et atteindre la profondeur où les racines actives sont concentrées. Cependant, comme la quantité absolue d'eau d'irrigation change

avec les conditions climatiques, la fréquence des irrigations doit varier, alors que la dose d'irrigation doit rester constante.

d) Système d'irrigation : Pour éviter la pollution par les nitrates, le système d'irrigation doit appliquer l'eau uniformément. Évidemment, plus l'efficacité du système d'irrigation est élevée, plus grande sera l'efficacité d'absorption de l'N par les cultures et plus faible sera le potentiel de pertes et de pollution par les nitrates. La micro-irrigation conçue, installée et contrôlée de façon appropriée, fournit l'efficacité d'irrigation la plus élevée. En irrigation à la raie, les agriculteurs sont conviés à créer des raies courtes, spécialement si le nivellement au laser n'est pas possible.

e) Mélange d'eau usée traitée avec de l'eau claire si elle est disponible

Autres problèmes

Une attention particulière doit être portée aux constituants de l'eau usée traitée qui peuvent obstruer les systèmes d'irrigation. Le colmatage des asperseurs, des micro-asperseurs et des goutteurs peut engendrer un problème sérieux. L'accumulation (dépôts biologiques, bactéries, etc.) Dans les arroseurs, les canalisations d'alimentation, les orifices de distribution, peut causer un colmatage tout comme une concentration importante en algues et en matières en suspension.

Les problèmes de colmatage les plus sérieux se produisent avec les systèmes goutte à goutte.

Une filtration peut être requise juste avant irrigation. Ceci entraîne que la gestion du système d'irrigation goutte à goutte utilisant l'eau usée traitée a besoin de plus d'assistance.

➤ **les solutions suggérées pour résoudre le problème de colmatage sont :**

- Pour éviter les problèmes dus aux algues en suspension qui s'accumulent à la surface de l'eau et aux problèmes dus à l'accumulation de boues au fond du réservoir, l'eau doit être pompée à une profondeur d'environ un mètre de la surface.
- Filtration. En fonction de la concentration des solides en suspension, des algues et d'autres impuretés, des filtres à gravier, à sable ou autres sont requis 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.

2.2 Critères de qualité biologique :

Les critères de qualité de l'eau usée traitée et les directives de son utilisation sont les bases essentielles d'une installation réussie de tout projet de recyclage d'eau usée traitée. La

qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Une réutilisation restrictive ou non restrictive peut être adoptée en fonction de la qualité microbiologique. Dans ce manuel, les critères microbiologiques de qualité ne sont pas développés. On suppose que chaque pays possède des directives et/ou règlements auxquels les agriculteurs doivent obligatoirement se conformer. Les agriculteurs doivent cependant être informés de ces directives comme de la qualité de l'eau usée qui leur est fournie, de façon à appliquer une gestion appropriée dans des limites de risques acceptables pour la santé et l'environnement. Les pays qui n'ont pas encore développé leurs directives nationales sont encouragés adopter celles de l'OMS (tableau 9). Il est à noter que chaque pays devrait avoir ses propres directives et ses codes de bonnes pratiques. Dans ce contexte, les directives utilisées à Chypre sont présentées comme exemple (annexe II).

Tableau 9. Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989)¹

Catégorie	Conditions de réalisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux ^a (nbre d'oeufs/litre) moyenne arithmétique	Coliformes intestinaux (nbre par 100 ml) moyenne ^b géométrique	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^c	Ouvriers agricoles consommateurs public	Maximum 1	Maximum 1.000 ^d	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres ^e	Ouvriers agricoles	Maximum 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B. si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

(Source : OMS, 1989)

a) Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes. **-b)** Pendant la période d'irrigation. **-c)** Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels. **d)** Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson. **_e)** Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

Chapitre 2

3- IRRIGATION AVEC L'EAU USÉE TRAITÉE :

L'irrigation joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures.

Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle pour une agriculture onomiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie.

3.1 Méthodes d'irrigation :

3.1.1 Méthodes (traditionnelles) de surface

- irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface du terrain
- Irrigation par tuyaux.
- Irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain est humectée.

Ces méthodes sont utilisées sur presque 95% des superficies irriguées à travers le monde. Elles sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Elles conviennent à beaucoup de pays en voie de développement, en particulier si l'eau n'est pas le facteur limitant pour la production agricole.

3.1.2 Méthodes d'irrigation sous pression :

Asperseurs (asperseurs de capacité élevée, mini asperseurs ordinaires et asperseurs). Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie.

Goutte à goutte (système d'irrigation ponctuel ou localisé). Les caractéristiques principales du système sont:

- efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la Meilleure méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème.
- méthode appropriée pour faire face aux problèmes associés à la salinité de l'eau d'irrigation et à l'alcalinité du sol.

- cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
- le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
- aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

Irrigation souterraine : Ce système n'est pas encore employé avec l'eau usée, mais il pourrait être utile pour irriguer avec de l'eau usée de mauvaise qualité et à risque sanitaire élevé.

L'irrigation souterraine et l'irrigation localisée peuvent assurer une meilleure protection sanitaire.

Irrigation par Hubble : C'est une technique d'irrigation localisée avec régulation de l'écoulement. Lorsqu'il y a danger de colmatage, ce système convient mieux que l'irrigation goutte à goutte et les mini asperseurs.

Irrigation avec des eaux usées traitées – Manuel d'utilisation

3.1.3 Choix du système 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, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public. Le tableau 19 qui évalue la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, la raie (ou sillon), l'aspersion, le goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est également valable pour l'eau usée traitée, en particulier en ce qui concerne la salinité.

Les problèmes de colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs et des systèmes d'irrigation souterrains peuvent être sérieux. Son développement (dépôts biologiques, bactéries, etc.) Dans les asperseurs, les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation, produit le colmatage. Les sels et les solides en suspension peuvent également produire le colmatage. Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme le système idéal en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension (MES).

➤ Recommandations :

Les agriculteurs doivent savoir que pour une eau usée traitée répondant à la directive de l'OMS (tableau 9), toutes les méthodes d'irrigation sont appropriées du point de vue du

contrôle de la transmission de maladies, à condition que les critères agricoles soient également rencontrés. Si l'eau usée ne répond pas aux critères de santé alors:

- l'irrigation par aspersion (mini asperseurs, asperseurs, 'cracheurs', etc.) Est seulement limitée aux fourrages, fibre, et production de graines.
- l'irrigation par pulvérisation d'eau sur les pelouses ou les domaines à accès illimité, peut être pratiquée pendant la nuit.
- l'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en conditions venteuses. Les microbes pathogènes peuvent être emportés par le bouillard ou l'aérosol formé par la dérive du vent ce qui peut engendrer un risque sanitaire pour les ouvriers, les habitants de la ferme et des zones résidentielles voisines.
- si l'eau usée traitée n'a pas la qualité sanitaire et/ou environnementale acceptable, il faut mélanger l'eau usée traitée avec l'eau d'irrigation conventionnelle, si elle est disponible, pour permettre d'atteindre les prescriptions pour un certain usage.

Les méthodes d'irrigation doivent également être examinées par rapport à l'ampleur de leur pratique dans une zone ou un pays, l'expérience des agriculteurs avec certaines méthodes et l'ampleur de la contamination qu'elles peuvent induire sur les cultures, en particulier sur les parties comestibles.

3.2 Quantités d'eau et programmation des irrigations :

A toutes fins pratiques, le besoin en eau des cultures est égal à leur évapotranspiration. Cette quantité pourrait être dépassée à cause des besoins en eau de lessivage. Une étude approfondie de ce sujet et des directives est donnée dans le bulletin numéro 24 de la série 'Irrigation et Drainage' de la FAO (1984). Le logiciel, appelé CROPWAT est disponible à la FAO. Il permet de déterminer des besoins en eau des cultures à partir de données climatiques. On peut également employer la méthode simple, basée sur l'évaporation d'un bac d'évaporation.

Tableau 19. Évaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990)

Paramètres d'évaluation	Irrigation à la raie	Irrigation à la planche	Irrigation par aspersion	Irrigation localisée
Le mouillage foliaire et endommagement des feuilles ayant pour résultat un rendement faible	Aucun dommage foliaire si la culture est plantée sur la crête du billon	Quelques feuilles inférieures peuvent être affectées, mais les dommages ne sont pas suffisamment sérieux pour réduire le rendement	Les feuilles peuvent être sévèrement endommagées ayant pour résultat une perte significative de rendement	Aucun dommage foliaire ne se produit avec cette méthode d'irrigation
Accumulation de sels dans la zone des racines avec les applications répétées	Les sels tendent à s'accumuler sur la crête du sillon, ce qui peut nuire à la culture	Les sels se déplacent vers le bas et ne sont pas susceptibles de s'accumuler dans la zone des racines	Les sels se déplacent verticalement et la zone racinaire n'est pas susceptible d'accumuler des sels	Les mouvements de sel sont radiaux le long de la direction du mouvement de l'eau. Une zone salée est formée entre les points de goutte à goutte
Capacité de maintenir un potentiel élevé de l'eau dans le sol	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Il n'est pas possible de maintenir un potentiel en eau du sol élevé tout au long de la saison de croissance	Possibilité de maintenir un potentiel élevé en eau du sol tout au long de la saison de croissance et de réduire au minimum l'effet de la salinité
Convenance pour manipuler l'eau saumâtre sans perte significative de rendement	Faible à moyenne. Avec une bonne gestion et un bon drainage, il est possible d'obtenir des rendements acceptables	Faible à moyenne. Les bonnes pratiques en matière d'irrigation et de drainage peuvent produire un niveau de rendement acceptable	Très faible à faible. La plupart des récoltes souffrent de dommages sur des feuilles et d'un faible rendement.	Excellent à bon. Presque toutes les cultures peuvent se développer avec une réduction de rendement faible.

Tableau 20. Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989)

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 les 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 les 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	Quelques cultures de la catégorie B*, principalement 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

* Les catégories de cultures sont présentées aux chapitres suivants

A toutes fins pratiques, le besoin en eau des cultures est égal à leur évapotranspiration. Cette quantité pourrait être dépassée à cause des besoins en eau de lessivage. Une étude approfondie de ce sujet et des directives est donnée dans le bulletin numéro 24 de la série 'Irrigation et Drainage' de la FAO (1984). Le logiciel, appelé CROPWAT est disponible à la

FAO. Il permet de déterminer des besoins en eau des cultures à partir de données climatiques. On peut également employer la méthode simple, basée sur l'évaporation d'un bac d'évaporation.

Le tableau 21 présente les besoins en eau de quelques cultures. La quantité réelle doit être ajustée aux précipitations efficaces, aux besoins de lessivage, aux pertes d'eau et à d'autres facteurs. Le besoin en eau recommandé pour une certaine culture et pour un endroit donné est estimé comme indiqué dans la section précédente ou basé sur des données météorologiques.

Tableau 21. Besoins en eau de quelques cultures (adapté de FAO, 1992)

Culture	Besoins en eau (mm/période de croissance)
Luzerne	800 – 1600
Banane	1200 – 2200
Haricot	300 – 500
Choux	380 – 500
Citrus	900 – 1200
Coton	700 – 1300
Arachide	500 – 800
Maïs	500 – 800
Pomme de terre	500 – 700
Riz	350 – 700
Tournesol	800 – 1200
Sorgho	450 – 650
Blé	450 – 650

3.3 Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement

La santé humaine et l'environnement pourraient être protégés au travers de quatre groupes de mesures (Mara et Cairncross, 1987) :

- le niveau de traitement des eaux résiduaires,
- la restriction des cultures pratiquées,
- la méthodes d'irrigation,
- le contrôle de l'exposition humaine aux eaux usées épurées et l'hygiène.

Le traitement complet des eaux usées empêche les microbes pathogènes excrétés d'atteindre le champ. Cependant, les agriculteurs, dans la plupart des cas, doivent faire face à l'eau usée d'une certaine qualité. A cause de cela, la restriction des cultures, le choix du système d'irrigation et le contrôle de l'exposition humaine sont très importants. Une combinaison de mesures agro-techniques à sélectionner, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire.

3.3.1 Choix des cultures pour la protection sanitaire

L'eau usée qui répond aux directives de qualité de l'OMS pour un usage sans restriction (<1000 coliformes fécaux par 100 ml et < 1 oeuf de nématode par litre) peut être employée pour irriguer toutes les cultures, sans autres mesures sanitaires de protection supplémentaires. Si les directives de qualité de l'OMS ne sont pas entièrement satisfaites, il est encore possible d'irriguer certaines cultures sans risques pour le consommateur (figure 1). Les cultures peuvent être groupées en trois grandes catégories, en fonction du degré de protection sanitaire requis (Shuval et al., 1986).

Catégorie A Protection nécessaire seulement pour des ouvriers agricoles:

- cultures non destinées à la consommation humaine (coton, sisal),
- cultures normalement traitées par la chaleur ou le séchage avant consommation humaine (graines, graines oléagineuses, betterave à sucre),
- légumes et fruits cultivés exclusivement pour mettre en conserves ou autre procédé qui détruit efficacement les pathogènes,
- fourrages séchés au soleil et moissonnés avant consommation par les animaux,
- parc irrigué en zone clôturée sans accès au public (pépinières, forêts, et ceinture de verdure).

Catégorie B Des mesures complémentaires peuvent être nécessaires:

- terre de pâture, fourrage vert,
- plantes pour la consommation humaine qui n'entrent pas en contact direct avec l'eau usée, à condition que rien ne soit ramassé sur le sol et que l'irrigation par aspersion ne soit pas employée (cultures arbustives, vignes, etc.),
- plantes pour la consommation humaine, consommées seulement après cuisson (pommes de terre, aubergine, betteraves),
- plantes pour la consommation humaine, dont la peau n'est pas mangée (melons, pastèques, citron, bananes, noix, arachides),
- cultures irriguées par aspersion.

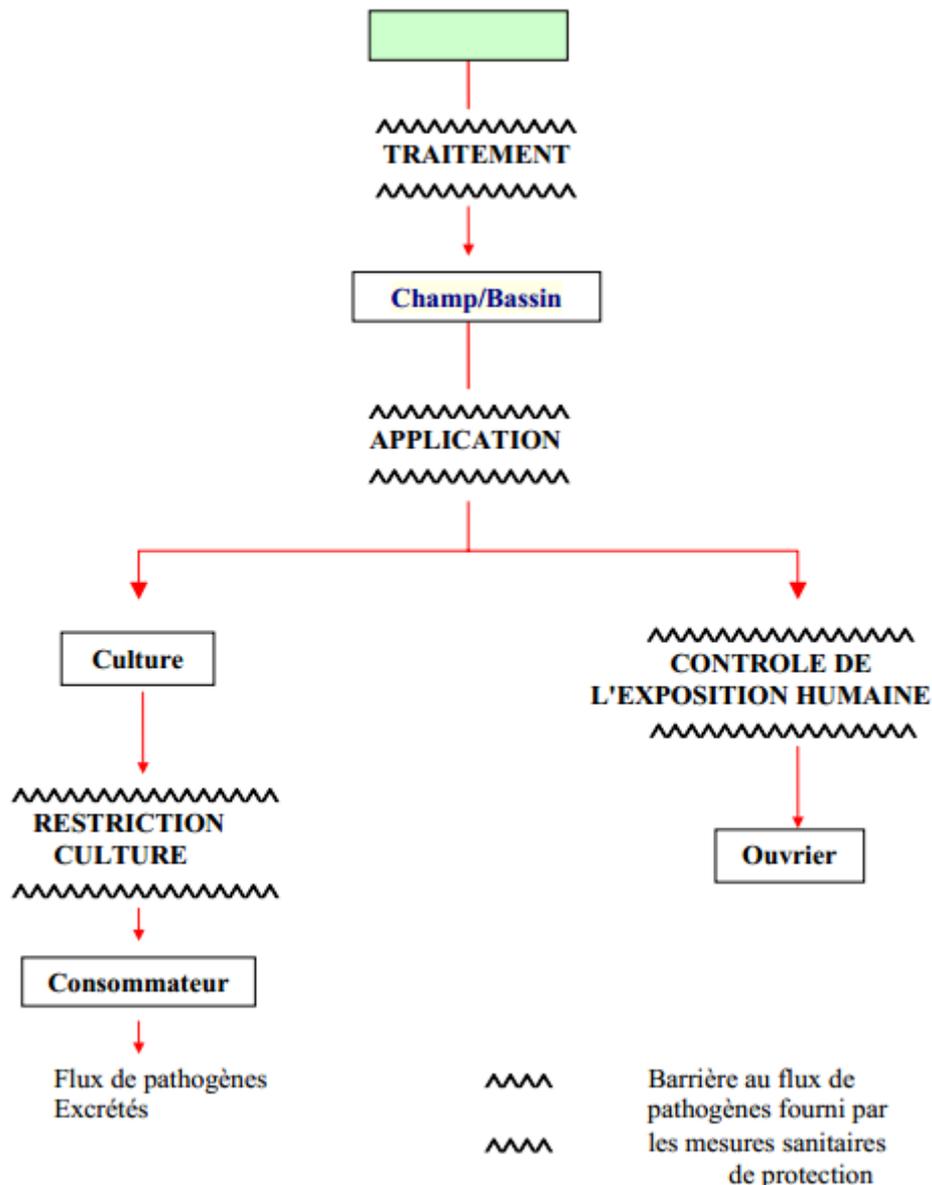


Figure 2: Organigramme pour montrer la transmission potentielle des microbes pathogènes et les points de rupture des flux de pathogènes produits par diverses mesures de protection (Blumenthal et al., 1989).

Catégorie C. Le traitement des eaux usées jusqu'à la qualité "sans restriction" des directives de l'OMS est essentiel.

- Les plantes souvent consommées crues et développées en contact étroit avec les eaux usées (légumes frais tels que la laitue ou les carottes, ou les fruits irrigués par aspersion).
- Irrigation des parcs avec accès public (parcs, pelouses, cours de golf).

L'adoption de la restriction des cultures comme moyen de protection de la santé et de l'environnement exige un cadre institutionnel et la capacité de surveiller et de contrôler la conformité aux règlements. Les agriculteurs doivent connaître la raison pour laquelle la

restriction des cultures est nécessaire et doivent être aidés pour développer un système de culture. Les cultures irriguées avec l'eau usée traitée (indépendamment de la méthode d'irrigation et de la qualité de l'eau usée utilisée), ayant un potentiel de transmission de microbes pathogènes décroissant, sont classées de la façon suivante: 1) les légumes consommés crus,

2) les légumes consommés cuits,

3) les Plantes ornementales produites pour la vente sous serres,

4) les arbres produisant des fruits consommés sans épluchage,

6) les arbres produisant des fruits consommés après épluchage,

7) les raisins de table,

8) les pelouses en zone d'agrément d'accès public limité,

9) les fourrages verts,

10) les arbres produisant des noix ou autres arbres semblables,

11) les cultures industrielles.

La restriction des cultures est une stratégie qui assure la protection du consommateur. Cependant cette stratégie n'assure pas la protection des ouvriers agricoles et leurs familles puisqu'ils restent exposés au risque lié à la présence des microbes pathogènes dans le sol et sur les cultures. La restriction des cultures n'est donc pas une stratégie adéquate pour les agriculteurs au sens strict ; elle devrait être complétée par d'autres mesures comprenant leur hygiène personnelle et de leur famille.

3.4 Restrictions des cultures basées sur la composition chimique des eaux usées :

En plus des critères de qualité des eaux usées relatifs à la santé, il peut être nécessaire que les agriculteurs choisissent des cultures selon leur tolérance à la composition chimique de l'eau usée traitée.

3.5 Contrôle de l'exposition humaine aux déchets et de l'hygiène :

Contrôler le risque sur la santé publique des maladies véhiculées par les eaux lorsque l'eau usée traitée est utilisée en l'irrigation est très important. À cet égard, les groupes de personnes courant un tel risque et la façon dont de tels groupes sont exposés à ce risque, devraient être identifiés et examinés. Les groupes suivants peuvent être identifiés (Kypris, 1989) :

- **Les ouvriers agricoles.** La probabilité pour eux de se mouiller les mains, les vêtements, ou d'autres parties de leur corps à partir de fuites ou autrement, est certainement le plus gros

risque 'exposition. Par conséquent, les agriculteurs devraient être avertis du risque et manipuler l'eau usée avec précaution.

- **Les ouvriers de manutention et emballage** des cultures polluées. Si des précautions appropriées n'étaient pas prises à l'étape du traitement et des pratiques d'irrigation adaptées n'étaient pas suivies par les agriculteurs, les microorganismes pathogènes pourraient être présents sur les cultures à de concentrations suffisantes pour polluer les mains ou les vêtements de ces ouvriers.

- **Les consommateurs** :C'est le public, comprenant les enfants, les personnes âgées et d'autres personnes à faible résistance aux microorganismes pathogènes qui forment le groupe le plus sensible. Les agriculteurs doivent se sentir concernés de manière à éviter la contamination des cultures. Les cultures contaminées par des microorganismes pathogènes, en particulier les cultures consommées crues, peuvent infecter les consommateurs, si elles ne sont pas correctement lavées et nettoyées. Les risques des consommateurs peuvent être réduits par la cuisson complète et par des niveaux d'hygiène élevés. Les riverains doivent être tenus informés de l'endroit où les champs irrigués avec les eaux usées sont situés. De cette façon, ils peuvent éviter d'y entrer et également empêcher leurs enfants de le faire aussi.

- **Le grand public** :utilisant des zones d'agrément irrigués avec l'eau usée, en particulier si la pelouse sur laquelle des enfants jouent, ou d'autres personnes entrant en contact direct, est irriguée. Si les concentrations de microorganismes pathogènes demeurent élevées lors de l'application sur la pelouse, les risques de transmission des microorganismes pathogènes sont élevés. De cette application d'eau usée, les agriculteurs ne sont pas responsables.

- **Les personnes passant** :près, ou vivant à proximité des zones irriguées avec l'eau usée traitée. Il est évident que pour contrôler le risque sanitaire, les agriculteurs devraient être les premiers à connaître la qualité microbiologique de l'eau usée.

3.6. Conclusion

L'irrigation joue un rôle essentiel dans la stabilité des rendements des cultures. Il Ya plusieurs méthodes pour l'irrigation (méthodes de surface, méthodes d'irrigation sous pression).

Le choix de système d'irrigation approprié dépend de la qualité les eaux usée dans la culture, Doit préciser à travers un programme spécifique pour protéger la santé humaine et l'environnement.

Conclusion générale :

La réutilisation des eaux usées est d'une grande importance dans le maintien de l'approvisionnement en eau et que les grands besoins de la population de cette composante est utilisations les plus importants qui sont utilisés dans le côté agricole et sont donc certains des pays utilisant utilisés dans l'eau de l'agriculture, mais avant de les réutiliser doivent être abordés, car ils contiennent des substances toxiques affectent la santé humaine et l'environnement qui l'entoure, ils contiennent des produits chimiques différents, tels que (les matières solides ,les nutriments, la salinité, les micro-organismes pathogènes).

Pour répondre à ces matériaux sont passés par plusieurs étapes du processus sont (le traitement préliminaire, le traitement primaire, le traitement secondaire, le traitement tertiaire).

Il y a aussi un traitement biologique ou en libre-service grâce à des bactéries naturelles de reproduction et passant par les trois bassins(les bassins anaérobies, les bassins facultatifs, les bassins maturation), mais avant l'utilisation directe de ces traitement de l'eau doit identifier et de connaître la qualité de ces eaux et évalués par (salinité, alcalinité).

Les eaux usées contiennent aussi de l'engrais nécessaire à la plante, mais la plante peut dépasser les besoins tels que le phosphore, le potassium et parfois zinc et le bore - il doit donc être analysé.

Et l'eau traitée dans l'agriculture exploitée de différentes manières, et doit préciser la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation à travers un programme spécifique.

Aussi, l'arrosage une sorte d'eau de l'usine, il exige de ses propriétés physiques et chimiques en ligne avec cette plante afin de protéger et de protéger la santé des consommateurs parce que l'eau traitée peut contenir des éléments de métaux lourds inapproprié Il est donc conseillé d'utiliser cette eau dans la non-plante-consommation, comme des terrains de soccer arrosage, terrains de golf et les parcs et la culture du coton, ou autre utilisation de cette eau dans les usines et les lieux d'affectation sans utiliser pour boire.

Et tout cela pour maintenir le niveau de l'eau d'une part et la santé des citoyens et de leur environnement naturel.

Référence bibliographique

- Ayers,R.S.1977. Qualité de l'eau pour l'irrigation. . J. Irrig. Drain. Div., ASCE: 135-154.
- EPA.1992 Lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées ; Rapport technique WASH No.81, septembre 1992.
- FAO , 1985. Qualité de l'eau pour l'agriculture . FAO d'irrigation et de drainage du papier 29 , Rev. 1. , FAO, Rome .
- FAO , 1992. CROPWAT : Un programme d'ordinateur pour la planification et la gestion de l'irrigation . Irrigation et du Drainage papier 46. Rome.
- FAO / RNEA , 1991. Gestion des eaux usées pour l'irrigation . Tech . Bul . N ° 1. , p.15 .
- FAO / RNEA , l'utilisation des eaux usées 1991. et la santé humaine . Tech . Bul . N ° 3 , p.22
- FAO / RNEA , les méthodes d'irrigation 1992. , les cultures et les pratiques utilisant les eaux usées . Tech . Bul . N ° 4 , p.20 .
- FAO / RNEA , 1992. Traitement des eaux usées utilisées pour l'irrigation . Tech . Bul . N ° 2 , p.33 .
- FAO / RNEA , 1992. Les eaux usées comme source de cultures en éléments nutritifs . Tech . Bul . No. 5 , p.15 .
- FAO / RNEA , 1993. Considérations de système de réutilisation des eaux usées pour l'irrigation . Tech . Bul . No. 7 , p.18 .