



Programme des Nations Unies pour l'environnement



UNEP(DEC)/MED WG.270/Inf.19
7 juillet 2005

FRANCAIS
Original : ANGLAIS



PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANÉE

Réunion des Points focaux du PAM

Athènes, 21-24 septembre 2005

LIGNES DIRECTRICES POUR L'UTILISATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE

En coopération avec



OMS

FRANCAIS
Original : ANGLAIS



Barcelone, Espagne, 24 – 27 mai 2005

LIGNES DIRECTRICES POUR L'UTILISATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE

En coopération avec



AVANT-PROPOS

Le programme MED POL d'évaluation et de maîtrise de la pollution marine en Méditerranée a, entre autres tâches, celle de veiller à l'application des dispositions du Protocole relatif à la lutte contre la pollution d'origine tellurique (Protocole "tellurique"). En 1996, un Programme d'actions stratégiques (PAS) visant à combattre la pollution due à des activités menées à terre a été formulé, et il a été adopté un an plus tard par les Parties contractantes dans le cadre de la mise en œuvre du Protocole "tellurique".

L'une des activités assignées par le PAS porte sur l'élaboration au niveau régional de programmes visant à mettre en commun et à échanger des renseignements et conseils techniques en matière de systèmes écologiquement rationnels de traitement des eaux usées, y compris la réutilisation des eaux usées traitées.

La Douzième réunion ordinaire des Parties contractantes, tenue à Monaco en 2001, a recommandé qu'un ensemble de lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées municipales soit établi à l'intention des pays méditerranéens. La réalisation de cette tâche a été confiée à l'OMS/MED POL. L'avant-projet de lignes directrices a été rédigé en prenant en compte tous les travaux récents entrepris pour l'élaboration de lignes directrices de cette nature et, en particulier, les initiatives de l'Institut méditerranéen de l'eau et d'autres organisations méditerranéennes, débattues aux réunions de Barcelone et de Rabat. Dans le cadre du Symposium régional sur le recyclage de l'eau dans la région méditerranéenne, tenu à Héraklion en septembre 2002, le projet de lignes directrices a également été présenté et examiné au cours d'un atelier sur les pratiques de réutilisation et de recyclage de l'eau dans les pays méditerranéens.

Les observations formulées lors de cet atelier ont été intégrées dans le texte, et la deuxième version du projet a été présentée à la réunion d'experts désignés par les Gouvernements, tenue à Athènes du 8 au 10 avril 2003. Le présent document comporte les observations et propositions avancées par les participants lors de la réunion précitée et reflète l'opinion des experts sur la question. De plus, il est conforme aux nouvelles directives de l'OMS sur la réutilisation des eaux usées, qui doivent faire l'objet d'une publication officielle vers la fin de l'année. Le document reprend aussi les remarques reçues des coordonnateurs nationaux pour le MED POL à la suite de leur réunion tenue à San Gemini (Italie), du 27 au 30 mai 2003.

RÉSUMÉ DIRECTIF

L'utilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans la plupart des pays méditerranéens. Dans la région, les principaux projets d'utilisation sont consacrés à l'irrigation agricole, à l'irrigation paysagère et à la recharge des aquifères. L'utilisation à des fins industrielles est très rarement pratiquée..

La gestion des eaux usées en Méditerranée varie d'un pays à l'autre, en fonction des normes qui y sont en vigueur et du caractère effectif de leur application. Il est des pays qui ne possèdent pas d'installation d'épuration des eaux usées, et l'utilisation directe des eaux usées brutes y a lieu avec des risques sérieux pour la santé et des problèmes pour l'environnement. D'autres pays ont une politique nationale bien définie de réutilisation. De plus, les normes de traitement et d'utilisation des eaux diffèrent aussi d'un pays à l'autre, et parfois même au sein d'un même pays - comme en Italie et en Espagne.

Certaines des grandes disparités entre les normes sont dues à des différences dans la manière d'envisager la santé publique et la protection de l'environnement. Par exemple, il est des pays qui ont opté pour la réduction au minimum des risques et ont élaboré à cet effet une réglementation proche des normes de réutilisation visées par le "Title 22" de la Californie, alors que d'autres pays se tournent avant tout vers une anticipation rationnelle des effets qui aboutit à l'adoption d'une série de critères de qualité de l'eau sur la base des directives OMS (1989). C'est pourquoi il existe des différences importantes dans les normes adoptées par les pays méditerranéens.

Les approches de l'OMS et de la Californie sont à vrai dire hypothéquées par des questions et incertitudes d'ordre scientifique et de gestion qu'il convient de lever si l'on veut établir des normes valables à l'échelle de la Méditerranée et du monde..

D'où procèdent les lignes directrices et les normes existantes?

Le constat a été fait d'une absence de lignes directrices internationales très complètes et d'un déficit de connaissances et de données scientifiques. Les principes qui sous-tendent les lignes directrices ne sont pas toujours scientifiquement fondés sur une approche prudente, les normes relatives aux agents pathogènes ne sont pas des concentrations limites fixées en fonction des risques pour les divers agents mais sont des conditions techniquement étayées destinées à réduire la présence d'agents pathogènes et les possibilités d'exposition à ceux-ci par le traitement des eaux usées ou par la combinaison de leur traitement et de restrictions à leur utilisation.

Il existe peu d'études concernant les risques sanitaires microbiologiques dans l'environnement. Les données de la bibliographie sur les études épidémiologiques sont plutôt restreintes et portent avant tout sur la contamination microbiologique des eaux de baignade et de l'eau de boisson. Il existe fort peu d'études épidémiologiques réalisées sur l'utilisation à des fins non potables: les études faites au Mexique et à Jérusalem constituent à cet égard une exception.

Pour évaluer l'innocuité des applications de la récupération et de l'utilisation des eaux usées, les normes relatives à l'eau potable et aux eaux de baignade ont servi de référence. Des critères de qualité des eaux de baignade ou de l'eau potable devraient-ils être adoptés comme référence pour l'irrigation sans restrictions et les utilisations urbaines (cultures de légumes consommés crus, terrains de golf, jardins publics, arrosage de vergers, etc.)? Toutes les réutilisations des eaux usées n'exigent pas, tant s'en faut, une qualité d'eau potable ni même une qualité d'eau de baignade. Cependant, les risques d'infection

considérés comme acceptables quand ils se rapportent aux eaux de baignade ou à l'eau potable peuvent servir de références pour les lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées.

Projet de proposition de lignes directrices méditerranéennes pour la réutilisation des eaux usées

Les risques sanitaires comprennent les risques microbiologiques et les risques chimiques. Comme les utilisations à des fins non potables resteront encore pour longtemps l'objectif de la grande majorité des projets de réutilisation, le présent projet de lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne est axé sur les risques microbiologiques. Lors de l'élaboration des lignes directrices en question, certains principes ont été pris en compte. Les lignes directrices ou normes relatives à la qualité des eaux usées devraient rendre compte des possibilités de variations régionales en ce qui concerne les caractéristiques de climat, de débit d'eau et d'eaux usées et devraient être conçues pour protéger les personnes contre des expositions maximales plausibles. Elles devraient être:

- répondre aux conditions locales objectives (facteurs épidémiologiques, socio-culturels et environnementaux);
- répondre aux moyens disponibles;
- se prêter à une application effective..

Cinq catégories d'utilisations de l'eau récupérée sont envisagées (tableau 1):

- I. utilisations urbaines et résidentielles, retenues d'eau à des fins paysagères et récréatives;
- II. irrigation sans restrictions, retenues d'eau paysagères (contact avec l'eau interdit), et utilisations urbaines;
- III. irrigation agricole sans restrictions;
- IV. irrigation au moyen d'eau récupérée: systèmes ou méthodes d'application (goutte-à-goutte, réseau enterré, etc.) assurant un degré élevé de protection contre la contamination et une utilisation plus efficace de l'eau.

Des critères de qualité de l'eau sont proposés pour les catégories I à IV d'utilisations à des fins non potables.

Les traitements des eaux usées censés répondre aux critères ont été définis pour chaque catégorie d'eaux.

Besoins en matière de recherche

On ne dispose pas d'éléments scientifiquement étayés démontrant que les directives OMS n'ont pas réussi à protéger la santé publique. Mais, eu égard aux incertitudes qui entourent les impacts possibles sur la santé humaine et l'environnement des diverses options d'élimination et de recyclage, il convient de poursuivre les recherches pour réduire la marge d'incertitude qui subsiste sur les possibilités d'effets néfastes sur la santé humaine d'une exposition à l'eau récupérée et pour accroître la confiance dans leur réutilisation. Pour sécuriser le public et protéger la santé publique, il s'impose de mettre à jour le fondement des réglementations et, par la même, de faire en sorte que les normes relatives aux produits chimiques et aux agents pathogènes soient étayées par les données scientifiques et méthodes actuelles d'évaluation des risques et de valider l'efficacité de pratiques de gestion de l'eau récupérée. Il est nécessaire de lever les questions et incertitudes d'ordre scientifique

et de gestion qui hypothèquent les lignes directrices et normes existantes relatives à l'eau récupérée.

Tableau 1

Lignes directrices recommandées pour la réutilisation des eaux usées dans la région méditerranéenne

Catégorie d'eau	Critères de qualité			Traitement des eaux usées censé répondre aux critères
	Microbiologiques		Physiques -chimiques	
	Nématodes intestinaux ^(a) (nombre d'œufs par litre, moyenne arithmétique)	CF or <i>E. coli</i> ^(b) (ufc/100 ml, moyenne géométrique)	MES ^(c) (mg/l)	
Catégorie I				
a) Réutilisation à des fins résidentielles : arrosage de jardins privés, chasse d'eau des toilettes, lavage de véhicules.	≤ 0,1 ^(h)	≤ 200 ^(d)	≤ 10	Traitement secondaire + filtration + désinfection
b) Réutilisation à des fins urbaines: irrigation d'espaces à libre accès (ceintures vertes, parcs, terrains de golf, terrains de sport), nettoyage des rues, lutte anti-incendie, fontaines et autres aménagements de loisir.				
c) retenues d'eau paysagères et récréatives, masses d'eau et cours d'eau aménagés à des fins récréatives où un contact occasionnel du public avec l'eau est permis (à l'exception de la baignade).				
Catégorie II				
a) Irrigation de légumes (irrigation de surface ou par aspersion), de fourrages verts et prairies pour pâture directe, irrigation par aspersion des arbres fruitiers	≤ 0,1 ^(h)	≤ 1000 ^(d)	≤ 20 ≤ 150 ^(f)	Traitement secondaire ou équivalent ^(g) + filtration + désinfection Ou Traitement secondaire ou équivalent ^(g) + soit réservoirs de stockage soit bassins de maturation bien conçus en série, soit infiltration - percolation
b) Retenues d'eau paysagères: bassins/étangs, masses d'eau et cours d'eau à usage ornemental, où le contact du public avec l'eau est interdit.				
c) Réutilisations à des fins industrielles (sauf pour l'industrie agroalimentaire, des boissons et pharmaceutique).	-			

Catégorie III				
Irrigation des céréales et graines oléagineuses, plantes fibreuses et semis, fourrages secs sans pacage, culture pour l'industrie de la conserve, cultures industrielles, arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion) ^(e) , pépinières, pépinières ornementales, arbres, espaces verts sans accès ouvert au public.	≤ 1	<10-5	≤ 35 ≤ 150 ^(f)	Traitement secondaire ou équivalent ^(g) + stockage pendant quelques jours ou réseaux de bassins d'oxydation
Catégorie IV				
a) Irrigation de légumes (sauf tubercules, racines, etc.) avec des systèmes d'aspersion en surface ou enterrés (sauf la micro-aspersion) en recourant à des pratiques (comme les paillis en plastique, les étais, etc.) garantissant l'absence de contact entre l'eau récupérée et la partie comestible des légumes.	Aucun critère requis	Aucun critère requis	Prétraitement comme requis par les techniques d'irrigation, mais au minimum sédimentation primaire	
b) Irrigation de cultures de la catégorie III au moyen de systèmes d'irrigation par aspersion (tels que le goutte-à-goutte le barbotage, la micro-aspersion et les réseaux enterrés).				
c) Irrigation par des systèmes d'aspersion en surface des ceintures vertes ou espaces verts sans accès du public.				
d) Irrigation de parcs, terrains de golf, terrains de sport avec ruissellement sous la surface.				

^(a) Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes; la limite des lignes directrices est aussi destinée à protéger contre les risques provenant des parasites protozoaires.

^(b) CF ou *E. coli* (ucf/100mL): coliformes fécaux ou *Escherichia coli* (ufc: unité formant colonie/100 ml). Cet indicateur devrait être surveillé de préférence une fois par semaine, ou au minimum une fois par mois.

^(c) MES: matières en suspension.

^(d) Les valeurs doivent être conformes dans 80% des échantillons par mois; nombre minimal de 5 échantillons.

^(e) Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation devrait cesser deux semaines avec la cueillette des fruits et aucun fruit ne devrait être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion ne devrait pas être utilisée.

^(f) Bassins de stabilisation.

^(g) comme le traitement primaire avancé (Jimenez *et al.*, 1999 et 2001).

^(h) La valeur guide de ≤ 0,1 œuf de nématode/l est un critère de référence qui, une fois vérifié, ne nécessite pas de surveillance régulière.

Table des matières

	Page n°
1. INTRODUCTION	1
1.1 Généralités	2
1.2 Situation actuelle en matière de réutilisation des eaux usées dans la région et certains pays de la Méditerranée	6
2. RÉGLEMENTATIONS EXISTANTES CONCERNANT LA RÉUTILISATION EAUX USÉES	8
2.1 Les approches de l'OMS et de la Californie	8
2.2 Réglementations existantes concernant la réutilisation des eaux usées en Méditerranée	14
3. PROJET DE PROPOSITION DE LIGNES DIRECTRICES MÉDITERRANÉENNES POUR LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES EN APPUI À LA MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME D'ACTIONS STRATÉGIQUES	17
3.1 Introduction	17
3.2 Principes	17
3.3 Principaux risques sanitaires	18
3.4 Critères	18
3.5 Catégories d'applications de la réutilisation et qualité de l'eau	19
3.6 Lignes directrices	20
3.7 Prescriptions en matière de gestion	26
4. CONCLUSION	34
5. RECOMMANDATIONS	34
6. RÉFÉRENCES	37
7. ANNEXES	41

Portée du document

Le présent document porte principalement sur les incidences sanitaires qu'ont les eaux usées sur la population - autrement dit les utilisateurs, consommateurs, travailleurs et personnes se trouvant à proximité de projets de réutilisation d'eaux usées. Les risques que sont susceptibles de faire courir les eaux usées sont liés aux microorganismes et produits chimiques qu'elles véhiculent.

- Les constituants chimiques posent un problème sanitaire majeur pour une réutilisation indirecte à des fins d'eau potable mais non pas à des fins d'eau non potable, mis à part quelques situations exceptionnelles comme la réutilisation d'eaux usées non traitées ou l'apport massif d'effluents industriels en l'absence de mesures antipollution. Les réutilisations à des fins non potables resteront longtemps, en pratique, les seules applications en Méditerranée; par conséquent, les incidences sanitaires des constituants chimiques ne seront pas pris en compte ici. Les produits chimiques (Cl, Na, salinité, métaux lourds, etc.) peuvent aussi avoir des effets préjudiciables sur les végétaux et sols irrigués; cette question très importante est traitée dans plusieurs manuels et, en particulier, dans des rapports de la FAO.
- Une propagation possible de maladies infectieuses par des agents pathogènes d'origine hydrique est le problème le plus courant associé à la réutilisation des eaux usées. Le présent document s'attache à traiter cette question très importante et controversée.

Les normes de référence en vigueur dans le monde, et en particulier actuellement en Méditerranée, pour la réutilisation des eaux usées, ainsi que les méthodologies adoptées pour l'élaboration de lignes directrices et de normes dans ce domaine, ont fait l'objet d'un bilan en recherchant comment les approches et l'état actuel des connaissances pourraient servir à proposer des lignes directrices pour la Méditerranée en s'appuyant sur des fondements aussi scientifiques que possible. Plusieurs lacunes ont été recensées dans ces connaissances.

Le présent document se compose de deux parties. La première résume les approches adoptées par l'OMS et l'État de Californie et trace un panorama des normes et lignes directrices actuelles en matière de réutilisation des eaux usées dans la région méditerranéenne. La deuxième partie présente une proposition de lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées, avec la méthodologie adoptée pour élaborer cette proposition et des recommandations en vue de la mise en œuvre. Enfin, l'on trouvera en conclusion des observations sur les limitations et les développements futurs de ces lignes directrices ainsi que sur les besoins en matière de recherche.

Les lignes directrices proposées ici ne dispensent pas de l'obligation de respecter les réglementations locales, régionales ou nationales relatives à la qualité de l'eau et à la protection de l'environnement.

Dans le présent document, les termes "utilisation" ou "réutilisation" des eaux usées sont employés indifféremment, la tendance actuelle étant de remplacer le premier, avec sa connotation d'"utilisation de déchets", par le deuxième, perçu comme plus acceptable par le public.

1. INTRODUCTION

Dans le bassin méditerranéen, la récupération et l'utilisation des eaux usées sont pratiquées depuis l'antiquité grecque et romaine (Angelakis et Spyridakis, 1996). L'épandage sur les terres d'eau récupérée est une pratique ancienne et courante qui a connu divers stades de développement au fil des siècles, en fonction de l'évolution des connaissances, des procédés, des techniques d'épuration et de la réglementation. Les eaux usées ont été également utilisées par les civilisations européennes (Grande-Bretagne, Allemagne, France, Pologne, etc.) et méditerranéennes. Les eaux usées ont été utilisées aux XIV^e et XV^e siècles dans les plaines des régions de Milan ("marcites") ou de Valence ("huertas"), (Soulié et Tréméa, 1992).

Des eaux usées brutes ou partiellement traitées ont été épandues en de nombreux sites du monde entier, et non sans entraîner de conséquences graves pour la santé publique et des impacts néfastes pour l'environnement, avec notamment l'apparition de foyers infectieux endémiques, voire épidémiques.

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation pose des problèmes à la fois comme ressource potentielle en éléments nutritifs et comme source de pollution. La teneur des eaux usées en matières organiques, azote, phosphore et potassium peut améliorer la fertilité du sol et favoriser le développement des cultures. Mais leur teneur en substances minérales et organiques en traces et en agents pathogènes fait peser un risque sur la santé humaine et l'environnement. La composition microbienne des eaux usées conduit à imposer des restrictions et des contraintes aux utilisateurs. La teneur en microorganismes suscite des préoccupations majeures pour les utilisations à des fins résidentielles, urbaines et récréatives puisque le public peut entrer en contact, directement ou indirectement, avec les eaux usées. L'ingestion ou l'inhalation d'agents pathogènes peut générer des infections ou des maladies. Les éléments organiques et inorganiques en traces peuvent poser un problème pour l'environnement du fait de leurs effets potentiellement nocifs sur les biotes. Ils peuvent s'accumuler dans les couches superficielles du sol, être transportés dans les réseaux d'eaux souterraines sous-jacents ou être éliminés en étant assimilés par les végétaux, engendrant alors chez ces derniers et chez les animaux des troubles métaboliques et, par conséquent, une contamination de la chaîne alimentaire. Ces éléments peuvent être transférés à l'homme ou à l'animal par différentes voies et occasionner des effets sur la santé en fonction de leur concentration. Aussi les eaux usées doivent-elles être traitées et utilisées de manière à assurer des risques acceptables aussi bien pour les utilisateurs, travailleurs, consommateurs (humains et/ou animaux) que pour l'environnement.

Plusieurs ensembles de lignes directrices et manuels ont été publiés sur la réutilisation des eaux usées. Les normes californiennes pour l'utilisation à des fins agricoles ont été les premières à être publiées en 1918. En 1985, Pettygrove et Asano ont publié le document intitulé "Irrigation with reclaimed municipal wastewater - A guidance manual" ("Irrigation au moyen d'eaux usées municipales récupérées - Un guide"). En 1989, l'Organisation mondiale de la santé a établi des directives sur la qualité microbienne pour l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture: ces "Directives sanitaires pour l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture et l'aquaculture" visaient à encourager la réutilisation dans des conditions sanitaires bien définies et acceptables. La même année, le PNUE et l'OMS ont publié conjointement des "Lignes directrices pour l'utilisation sans danger des eaux usées et des excreta dans l'agriculture et l'aquaculture", où l'accent était mis sur la protection de l'environnement et de la santé publique. En 1991, le PNUE et la FAO ont publié conjointement des "Lignes directrices environnementales pour la réutilisation des eaux usées dans la région méditerranéenne".. Cette publication sera suivie en 1992 par celle de la FAO sur "Le traitement et l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture" et par le document de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis "Guidelines for Water Reuse" ("Lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées") publié la même année.

L'Organisation mondiale de la santé a également envisagé l'élaboration de directives chimiques en rapport avec la santé humaine pour l'irrigation des cultures au moyen d'eaux récupérées et le recours aux boues d'épuration comme engrais (Chang *et al.*, 1995). Ces directives ont aidé de nombreux pays à mettre en place ou à revaloriser des systèmes de récupération et de réutilisation des eaux usées écologiquement rationnels et sûrs qui fussent adaptés à leurs propres conditions techniques, socio-économiques et culturelles. Certains pays ont également appliqué des stratégies de réutilisation et publié des normes relatives aux agents pathogènes ainsi qu'aux polluants organiques et inorganiques.

Dans la région méditerranéenne, le volume des eaux usées s'accroît. De vastes étendues peuvent bénéficier de l'épandage d'eau récupérée, laquelle peut aussi servir à diverses autres fins en fonction de la demande, des caractéristiques de l'eau, de son adéquation, etc. Par conséquent, il existe dans la région un fort potentiel d'utilisation de l'eau récupérée. Mais il est essentiel que le développement de cette pratique de réutilisation dans l'agriculture et d'autres secteurs repose sur des éléments scientifiques démontrant ses effets sur l'environnement et la santé publique. Bien que plusieurs études aient été réalisées sur la qualité des eaux usées, et ce à diverses fins, il n'existe pas à l'heure actuelle de réglementations sur la réutilisation des eaux au niveau de la région méditerranéenne. Avec l'essor du tourisme et du marché alimentaire en Méditerranée, il s'impose d'adopter des principes communs à l'élaboration de normes de réutilisation des eaux usées de part et d'autre du Bassin.

1.1 Généralités

La région méditerranéenne se caractérise par des problématiques communes d'environnement et de développement, notamment en ce qui concerne la gestion des ressources en eau, leur développement et la lutte contre la pollution. Mais les deux rives (Nord/Est et Sud) du bassin présentent à cet égard des contrastes marqués et font face différemment aux questions qui se font jour.

Le climat "méditerranéen" est marqué par des étés chauds et secs et par des hivers doux qui reçoivent la majeure partie des précipitations annuelles. La pluviométrie se répartit inégalement (dans le temps et l'espace). En outre, l'ensemble ou des parties du Bassin connaissent des épisodes de sécheresse de manière plus ou moins chronique avec des successions imprévisibles d'années sèches qui peuvent fortement aggraver la situation..

Selon le Plan Bleu (Margat et Vallée, 2000), les ressources en eau renouvelables se répartissent très inégalement dans l'ensemble du Bassin méditerranéen, environ 72% se situant dans le nord (Espagne, France et Monaco, Italie, Malte, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Slovénie, ex-Yougoslavie, Albanie, et Grèce), 23% à l'est (Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Israël, Territoires palestiniens de Gaza/Cisjordanie, et Jordanie), et 5% dans le sud (Égypte, Libye, Tunisie, Algérie, et Maroc). En outre les ressources en eau disponibles deviennent de plus en plus rares, vulnérables et menacées par la surexploitation et différentes sources de pollution (tableau 2). Les pays du sud de la Méditerranée et du Moyen-Orient sont confrontés à des pénuries d'eau de plus en plus graves. Certains ont des ressources disponibles en eau douce naturellement faibles et font principalement appel aux eaux souterraines. Dans la plupart des cas, les eaux de surface sont déjà utilisées à leur capacité maximale. Les aquifères sont souvent surexploités et les intrusions d'eaux marines et saumâtres dans les zones côtières ont atteint un seuil à certains sites. Les nappes profondes non renouvelables ou fossiles sont prélevées à des degrés variables. L'exploitation des ressources non renouvelables des aquifères sahariens est développée de manière intensive en Libye, en Égypte, en Tunisie et en Algérie. Le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre est déjà appliqué ou programmé dans quelques pays en dépit de son coût élevé. Des indices d'exploitation nationaux dépassant 50%, ou avoisinant même 100% dans plusieurs pays méditerranéens (Égypte, Gaza, Israël, Libye, Malte, Tunisie)

montrent que la consommation d'eau actuelle dépasse déjà les ressources en eau conventionnelles renouvelables. Il s'ensuit que plusieurs problèmes se posent tout autour du Bassin, comme la salinisation de l'eau et du sol, la désertification, la pollution croissante de l'eau et une utilisation non durable des sols et de l'eau.

La population totale de la région est actuellement d'environ 427 millions d'habitants, dont 145 millions vivant à proximité de la mer, auxquels il faut ajouter 180 millions de touristes venant séjourner chaque année dans la région. D'ici à 2005, la population devrait s'accroître de 17 à 19%, et le nombre des touristes de 40%. L'évolution démographique est fondamentalement différente dans les pays du Sud et de l'Est (croissance accélérée) par rapport à ceux du Nord (stabilisation ou déclin). Elle est aggravée par une urbanisation souvent très intense le long du littoral.

En raison de l'accélération de la croissance démographique, la moyenne annuelle d'eau renouvelable par habitant décroît rapidement depuis 1950. Elle varie dans une fourchette importante – d'un peu plus de 100 à plus de 3000 mètres cubes par an (Margat et Vallée, 2000). Tous les pays méditerranéens de l'UE devraient se maintenir à un niveau égal ou supérieur à 3000 m³/hab/an alors que dans la plupart des autres pays méditerranéens les prévisions de disponibilités en eau sont inférieures au niveau de la "pénurie d'eau chronique" (< 1000 m³/hab./an), en raison avant tout d'une croissance démographique très élevée. Certains pays, comme la Tunisie, Israël et Malte, connaissent des "stress hydriques absolus" avec des disponibilités par habitant inférieures à 500 m³/an. À Malte, la consommation d'eau domestique excède de 50% les ressources disponibles. Dans ces zones, les ressources en eau conventionnelles seront insuffisantes pour répondre ne serait-ce qu'à la demande en eau domestique.

Ces problèmes de pénurie d'eau vont s'aggraver avec la croissance démographique, l'élévation du niveau de vie et l'urbanisation accélérée qui menace l'approvisionnement en eau en général et l'agriculture en particulier, entraînant à la fois une augmentation de la consommation d'eau et de la pollution des ressources en eau. L'augmentation continue de la demande du secteur urbain a conduit à une utilisation accrue d'eau douce à des fins domestiques, industrielles et touristiques, d'une part, et à la production de volumes plus importants d'eaux usées, de l'autre.

Le Bassin méditerranéen est désormais tributaire, pour son développement économique et social, de l'agriculture (dont la part maximale dans l'utilisation de l'eau varie de 42% à 84% de la demande totale, soit en moyenne 61%) et du tourisme, et en deuxième lieu de l'industrie et d'autres activités économiques. L'agriculture irriguée, en concurrence avec d'autres secteurs, va connaître des problèmes croissants de quantité et de qualité de l'eau en raison de ressources en eau conventionnelles de plus en plus restreintes, de besoins futurs croissants et de la diminution des volumes d'eau douce disponibles pour l'agriculture. Autour des villes de la région, la compétition avec d'autres secteurs fait souvent de l'eau le principal facteur limitatif du développement agricole. Les décideurs politiques ont alors été contraints de développer des ressources en eau supplémentaires ainsi que de préserver les ressources existantes. La récupération et le recyclage des eaux sont au nombre des diverses mesures destinées à encourager une gestion et utilisation intégrées et efficaces des ressources en eau et elles deviennent par conséquent un élément important des politiques nationales en matière de ressources.

Tableau 2

Pressions actuelles sur les ressources en eau des pays méditerranéens
(d'après Margat et Vallée, 2000)

Pays et territoires	Date de valeur	Indices de pression quantitative (%) sur les ressources renouvelables naturelles		Ressources disponibles en année moyenne $10^9 \text{ m}^3/\text{an}$	Rejets d'eaux usées urbaines et industrielles retournées aux eaux continentales $10^9 \text{ m}^3/\text{anr}^{(1)}$	Indice d'appauvrissement potentiel % ⁽²⁾
		Indice d'exploitation ⁽³⁾	Indice de consommation finale ⁽⁴⁾			
ESPAGNE	1997	31,6	20,6	89,0	3,22	3,6
FRANCE	1994	21,5	4,9	172,0	5,3	3,1
ITALIE	1993	23,5	14,5	143,0	7,7	5,4
MALTE	1995	167,0 ⁽⁶⁾	$\cong 27$ ⁽⁷⁾		$\cong 0,007$	-
SLOVÉNIE CROATIE BOSNIE-HERZÉGOVINE EX-YOUGOSLAVIE ARYM OU FYROM (MACÉDOINE)	1990	6,5	~ 1	262,0	~ 7	2,3
ALBANIE	1995	3,3	2,1	41,7	$\sim 0,3$	0,7
GRÈCE	1990	10,1	8,6	63,0	$\sim 0,1$	$\sim 0,2$
TURQUIE	1997	15,2	12,6	171,0	5,5	3,2
CHYPRE	1994	27,6	24,0	0,6		
SYRIE	1993	47,7 ⁽⁸⁾	31,6	24,5	0,35	1,4
LIBAN	1994	26	21,2	3,9	0,0	0,4
ISRAËL	1996	92,4	87,5	0,17		
GAZA	1994	217,0	132,0	-0,018	0,06	
CISJORDANIE	1994	24,0	14,3	0,52	0,05	~ 9
ÉGYPTE	1993	91,4 ⁽⁹⁾	83 ⁽⁹⁾	$\sim 16,0$	6,5	39
LIBYE	1995	477,0	475,0	-3		-
TUNISIE	1995	62	59,9	1,5	0,05	3,2
ALGÉRIE	1990	27,8	21,5	11,3	0,8	$\sim 7,0$
MAROC	1991	47	31,7	20,5	0,3	$\sim 1,5$

1 Rejets des eaux de refroidissement des centrales thermoélectriques non compris.

2 Ratio : retour d'eaux usées urbaines et industrielles aux eaux continentales de ressources renouvelables naturelles diminuées des consommations finales (= disponibilités), in %. Ces indices d'appauvrissement sont naturellement bien plus élevés si on les rapporte aux flux de basses eaux (étiages).

3 Indice d'exploitation: prélèvement annuel/flux moyen annuel de ressources totales (naturelles renouvelables ou exploitables), en %.

4 Indice de consommation: consommations finales annuelles des eaux prélevées (= consommations nettes par les usages + eaux usées non retournées aux eaux continentales, rejetées en mer) rapportées au flux moyen annuel de ressources naturelles renouvelables totales en %.

5 Solde: flux moyen annuel de ressources naturelles renouvelables totales – consommations finales (ce solde comprend les eaux usées retournées).

6 Rapporté aux ressources exploitables sans rupture d'équilibre eau douce/eau salée.

7 Malte : compte tenu du retour de pertes d'eau et d'eaux usées d'origine non conventionnelle (dessalement).

8 Syrie : rapporté aux ressources réelles en eau (25,11) avec ressources extérieures réduites, l'indice d'exploitation serait de 55%, l'indice de consommation finale de 45% et les disponibilités seraient d'environ $13,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$.

9 Égypte: indices rapportés aux ressources renouvelables réelles ($58 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$) et tenant compte des remobilisations et réutilisations.

Sur la rive Nord, le secteur agricole est conditionné par la politique agricole commune (PAC), et sur les rives Sud et Est par les accords d'échanges agricoles et la future zone de libre-échange. L'extension de la superficie irriguée se poursuivra dans les pays du Sud et de l'Est avec une demande alimentaire croissante et un développement de la production agricole tournée vers l'exportation. D'autre part, le secteur irrigué sera confronté à des défis majeurs avec le scénario de la future libéralisation des échanges agricoles; il se pourrait qu'une partie des ressources en eau soit réaffectée à des produits de valeur ajoutée élevée réservés à l'exportation au détriment de l'approvisionnement en eau pour les produits de base, les activités industrielles, le tourisme et les usages domestiques. L'un des enjeux auxquels fait face la région consiste à fournir des quantités et qualités d'eau répondant aux besoins.

Un problème important de la réutilisation des effluents tient aux dommages que subissent progressivement les ressources en eau et en sol du fait de la contamination par des micro-éléments toxiques et par d'autres agents chimiques présents dans ces effluents.

C'est pourquoi, afin d'encourager une utilisation étendue des effluents et d'en assurer la durabilité dans la région méditerranéenne, il est nécessaire de disposer de lignes directrices complémentaires traitant des paramètres physiques et chimiques pertinents. Les grandes menaces qui pèsent sur les ressources en sol et en eau comprennent:

- a) les matières organiques (DBO, DCO), qui sont présentes en abondance dans les eaux usées urbaines. La fraction dissoute des matières organiques peut provoquer une dispersion de l'argile dans les sols, ce qui se traduit progressivement dans ces derniers par une baisse de la conductivité hydraulique et la formation de blocs et dépôts calcaires. Les matières organiques contiennent des agents complexants métalliques (comme l'EDTA) qui seraient susceptibles d'influer sur la mobilisation des métaux lourds dans le sol et leur migration;
- b) des éléments nutritifs comme les nitrates, nitrites et l'ammoniac, qui sont présents en abondance dans les effluents résiduels domestiques et agro-écologiques. Une concentration accrue peut occasionner des fuites/infiltrations de nitrates et nitrites à travers le sol et contaminer les aquifères sous-jacents. Le lessivage des éléments nutritifs par les eaux de surface, y compris les eaux marines, pourrait se traduire par une surfertilisation sous forme de proliférations algales (eutrophisation). Certains niveaux d'éléments nutritifs peuvent être maintenus dans les effluents comme substituts d'apports d'engrais artificiels;
- c) le bore est essentiel à la croissance des végétaux à une concentration de quelques dizaines de mg/l. Il est toxique pour les végétaux en fonction du niveau de tolérance de bon nombre de ceux-ci. Le phosphore, le potassium, le sodium, les chlorures, au delà d'une certaine concentration, peuvent avoir des effets néfastes sur les sols et de nombreuses cultures et il convient donc d'adopter des pratiques de gestion prudentes;
- d) les produits toxiques présents dans les effluents comme les métaux (mercure, cadmium, zinc, etc.) sont nocifs pour les végétaux une fois qu'ils dépassent les niveaux requis. Leur migration vers les eaux souterraines et les eaux de surface peut entraîner des risques pour la santé humaine (avec des effets aigus et chroniques).

1.2 Situation actuelle en matière de réutilisation des eaux usées dans la région et certains pays de la Méditerranée

1.2.1. Ampleur de la réutilisation des eaux usées

L'ampleur de la réutilisation des eaux usées peut être évaluée en rapportant le potentiel de réutilisation à l'utilisation totale de l'eau. La récupération et la réutilisation des eaux usées sont dans l'ensemble d'une importance restreinte lorsqu'on les compare avec l'utilisation totale de l'eau, mais l'on s'attend à ce qu'elles augmentent notablement. Elles gagnent et gagneront encore en importance dans les régions pauvres en eau. Aux États-Unis, l'on a estimé que la réutilisation des eaux usées municipales représentait, en 2000, 1,5% du total des prélèvements d'eau douce. En Tunisie, les eaux récupérées représentaient, en 1996, 4,3% des ressources disponibles en eau et elles pourraient atteindre 11% en 2030. En Israël, elles représentaient, en 2000, 15% des ressources en eau disponibles et pourraient atteindre 20% en 2010. Le volume des eaux usées traitées rapporté aux ressources en eau affectées à l'irrigation est actuellement d'environ 7% en Tunisie, 8% en Jordanie, 24% en Israël, et 32% au Koweït. Approximativement 10% des effluents traités sont utilisés au Koweït, 20-30% en Tunisie, 85% en Jordanie et 62% en Israël. Dans l'État de Californie, qui abrite le nombre le plus important d'installations de réutilisation des eaux usées des États-Unis, 434 millions de mètres cubes d'eaux usées municipales sont actuellement utilisées et, en 1999, les réutilisations affectées à l'irrigation agricole se montaient à 68% du total des eaux récupérées utilisées (Asano *et al.*, 2000). Au Japon, la réutilisation est principalement destinée des fins non potables telles que la chasse d'eau des toilettes, les eaux des aménagements urbains et l'industrie (Asano *et al.*, 2000). En Tunisie, le montant prévu des eaux récupérées à l'horizon 2020 serait de l'ordre de 18% des ressources en eaux souterraines disponibles et pourrait servir à remplacer les prélèvements de celles-ci pour l'irrigation dans les zones où le pompage excessif provoque des intrusions d'eau salée dans les aquifères du littoral.

1.2.2. Facteurs incitatifs, avantages et problématiques de la réutilisation des eaux usées

Les facteurs incitatifs à un développement de la réutilisation des eaux usées dans la région méditerranéenne sont liés à diverses questions comme l'état des ressources en eau (environnement pauvre en eau et menacé par la pollution), des facteurs économiques (rapport coût-efficacité de l'eau récupérée), ou des problèmes environnementaux (réglementations de plus en plus strictes applicables à la qualité de l'eau des rejets).

Les avantages, risques potentiels pour la santé et impacts sur l'environnement résultant de la réutilisation des eaux usées et les mesures de gestion visant à ce que cette réutilisation s'effectue dans des limites de risque acceptables pour la santé publique et l'environnement sont examinés dans plusieurs documents (Shuval *et al.*, 1986; Mara et Cairncross, 1989; Asano, 1998; Crites et Tchobanoglous, 1998; Angelakis *et al.*, 1999; Blumenthal *et al.*, 2000; Angelakis et Bontoux, 2001).

La réutilisation des eaux usées est censée contribuer à refermer le cycle de l'eau et à permettre ainsi une réutilisation durable des ressources en eau disponibles. Quand elle est intégrée à la gestion des ressources en eau, la réutilisation peut être considérée comme une partie intégrante de la lutte contre la pollution de l'environnement et de la stratégie de gestion de l'eau. Elle peut présenter des avantages pour la santé publique, l'environnement et le développement économique. Des eaux récupérées peuvent fournir des quantités supplémentaires d'eau significatives et sans danger et contribuer à la conservation des ressources dulçaquicoles. Elles peuvent être considérées comme une source précieuse d'eau et d'éléments nutritifs dans les projets agricoles et permettre ainsi de réduire le recours aux engrais chimiques et d'accroître la productivité agricole. L'utilisation d'eau récupérée, si

elle est bien gérée, peut atténuer la pollution des ressources en eau et des masses réceptrices vulnérables. Elle peut aussi contribuer à lutter contre la désertification et à remettre en valeur les zones désertiques. L'intrusion d'eau salée dans les aquifères du littoral peut être combattue par les opérations de recharge de ceux-ci. D'autres avantages économiques et sociaux peuvent résulter de tels projets, comme l'emploi et les produits destinés à l'exportation. Mais il est essentiel que le développement de la réutilisation intègre la prévention de ses effets négatifs sur l'environnement et la santé publique puisque la teneur des eaux usées en substances minérales et organiques en traces et en agents pathogènes représente un risque pour la santé humaine. Il convient donc d'assurer un traitement adéquat selon l'usage auquel on destine l'eau récupérée.

1.2.3. Réutilisation des eaux usées dans la région méditerranéenne

Dans la plupart des pays de la région méditerranéenne, les eaux usées sont largement utilisées, à des degrés divers, dans des systèmes plus ou moins planifiés. Dans de nombreux cas, des eaux usées brutes ou insuffisamment traitées sont épandues. Dans d'autres cas, il est fréquent que des stations d'épuration des eaux usées ne soient pas en service ou qu'elles soient surchargées au point de rejeter des effluents impropres à la réutilisation, ce qui entraîne des risques pour la santé et des impacts sur l'environnement, avec une prévalence de maladies d'origine hydrique. Dans d'autres cas où les conditions propres à une réutilisation sont remplies, les eaux usées sont alors soumises à des systèmes de récupération adéquats et les effluents traités servent à diverses fins sans présenter aucun risque pour la santé humaine. En pareil cas, les eaux récupérées sont une ressource alternative importante pour le développement durable et la production d'aliments.

Cependant, seuls quelques pays méditerranéens (Chypre, Israël, Tunisie, Syrie) ont inclus la réutilisation dans la planification de leurs ressources en eau et ont eu des politiques officielles d'incitation à cette pratique. L'on peut recenser toute une série d'approches dans les politiques de réutilisation des eaux usées en raison de capacités différentes de mettre en œuvre de telles politiques et en fonction des conditions socio-économiques, institutionnelles et technologiques. Les pays présentent des différences dans leurs politiques d'environnement et de santé publique, de même que dans leurs installations de collecte, traitement et élimination des eaux usées, dans leurs capacités humaines et leurs équipements, leurs ressources matérielles et financières (US EPA, 1992).

L'on peut aussi recenser un large éventail de situations avec divers niveaux de traitement et opérations d'utilisation. Dans la plupart des cas, une technique classique a été adoptée pour traiter les eaux usées, quel que soit le type d'utilisation auquel on les destine. L'approche générale adoptée jusqu'à ce jour repose sur la génération d'un effluent répondant à des prescriptions de qualité pour les rejets d'eaux usées.

Les principales opérations d'utilisation dans la région sont destinées à l'irrigation agricole, à l'irrigation paysagère et à la recharge des eaux souterraines. L'utilisation à des fins industrielles est rarement pratiquée. Il convient aussi de noter que plusieurs investigations et études pilotes ont été réalisées dans la région. Les informations qui en ont résulté ont permis de définir des traitements et utilisations pour les conditions spécifiques de la région. La mise en œuvre de projets d'utilisation à grande échelle s'est soldée par l'acquisition d'une expérience technique et opérationnelle en matière d'utilisation de l'eau récupérée. Cependant, jusqu'à ce jour, il n'existe pas de lignes directrices spécifiques pour la Méditerranée qui régiraient la réutilisation des eaux. Les pays méditerranéens membres de l'UE doivent se conformer à la directive communautaire 91/271/CEE qui spécifie que "les eaux usées traitées doivent être réutilisées chaque fois qu'il y a lieu".

2. RÉGLEMENTATIONS EXISTANTES CONCERNANT LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

2.1 Approches adoptées par l'OMS et l'État de Californie

Différentes approches pourraient être adoptées pour instaurer des réglementations concernant la réutilisation des eaux usées. Les deux modèles de référence, à savoir les normes californiennes de réutilisation des eaux (1978) et les directives de l'Organisation mondiale de la santé (1989) résultent de processus historiques différents et n'ont pas les mêmes objectifs. Ils sont présentés ci-après.

2.1.1. Normes californiennes de réutilisation des eaux

Les premières réglementations relatives à la réutilisation des eaux ont été instaurées en 1918 par l'État de Californie. À l'époque, la seule application prise en considération était l'irrigation. En 1933, les premières normes microbiennes d'effluent "pour l'irrigation de jardins maraîchers à produits consommés crus" ont été fixées par le Conseil de santé de l'État de Californie, soit une concentration de coliformes $\leq 2,2$ NPP/100 ml (Ongerth et Jopling, 1977). La concentration de coliformes était équivalente à celle requise pour l'eau potable et se fondait sur le concept de "risque zéro". Depuis lors, les normes ont été constamment révisées pour répondre aux nouvelles applications de l'eau récupérée et prendre en compte les progrès accomplis dans les techniques d'épuration des eaux usées et les dernières connaissances en matière de protection de la santé publique (Crook, 1998).

Plusieurs recherches, amorcées à la fin des années 1960, ont aidé à élaborer des réglementations détaillées sur la réutilisation des eaux usées dans plusieurs États des États-Unis en traitant d'un large éventail d'utilisations. La Floride, et plus spécialement la Californie, ont été à la tête de ce processus. En 1978, le Département des services de santé de la Californie a publié des critères pour la récupération des eaux usées. Ils ont été récemment révisés (État de Californie, Title 22 Water Recycling Criteria, 2000). Ces normes, qui s'appliquent à la récupération des eaux usées, comprennent des normes de qualité de l'eau, des prescriptions concernant le procédé de traitement, des prescriptions concernant la fiabilité de l'exploitation et du traitement. Les critères de qualité de l'eau et les prescriptions concernant le traitement sont les suivants (tableau 3):

1. Pour l'utilisation agricole sans restrictions aux fins d'irrigation des plantes fourragères et fibreuses, des semis, des vergers et vignobles, des cultures vivrières soumises à transformation, des arbres non fruitiers, des pépinières ornementales, des exploitations d'engazonnement et de vidange des collecteurs sanitaires, aucune limite bactérienne n'est fixée et un traitement secondaire est requis.
2. Pour l'irrigation des prairies destinées à pâture des animaux à traire, à l'irrigation des sites paysagers - à accès restreint ou réglementé -, des pépinières ornementales et exploitations d'engazonnement où l'accès du public n'est pas restreint; pour les retenues d'eau paysagères, l'eau de refroidissement industrielle ou commerciale ne donnant lieu à aucune vaporisation, pour la lutte anti-incendie non structurelle, l'alimentation des chaudières industrielles, le tassement du sol, le dépoussiérage, le nettoyage des chaussées, des trottoirs et des espaces en plein air, la limite de coliformes totaux est fixée à 23/100 ml. La récupération requiert un traitement secondaire suivi de désinfection.

Tableau 3

Critères californiens pour le recyclage de l'eau et prescriptions concernant la qualité pour les utilisations d'eau récupérée à des fins non potables
(État de Californie, Title 22 Water Recycling Criteria (2000)).

Type d'utilisation	Limites de coliformes totaux ^a	Traitement requis
Irrigation de plantes fourragères et fibreuses, des semis, des vergers ^b et vignobles ^b , des cultures vivrières destinées à la transformation, des arbres non vivriers, des pépinières ornementales ^c , des exploitations d'engazonnement ^c ; vidange des collecteurs sanitaires	• Aucune limite requise	• Secondaire
Irrigation des pâturages destinés aux animaux à traire, des sites paysagers ^d , des pépinières ornementales et exploitations d'engazonnement où l'accès du public n'est pas restreint; retenues d'eau paysagères; eau de refroidissement industrielle ou commerciale ne donnant pas lieu à vaporisation; lutte anti-incendie non structurelle; alimentation des chaudières industrielles; tassement du sol; dépoussiérage; nettoyage des chaussées, des trottoirs et espaces en plein air	• ≤23/100 ml • ≤240/100 ml dans plus d'un échantillon au cours d'une période de 30 jours	• Secondaire • Désinfection
Irrigation de cultures vivrières ^b ; retenues d'eau à usage récréatif réglementé; écloses piscicoles	• ≤2,2/100 ml • ≤23/100 ml dans plus d'un échantillon au cours d'une période de 30 jours	• Secondaire • Désinfection
Irrigation de cultures vivrières ^e et sites paysagers de libre accès ^f ; chasse d'eau des toilettes et urinoirs; eau des procédés industriels; jets d'eau décoratifs; blanchisseries commerciales et installations de lavage des voitures; production de neige artificielle; lutte anti-incendie; eau de refroidissement industrielle ou commerciale donnant lieu à vaporisation	• ≤2,2/100 ml • ≤23/100 ml dans plus d'un échantillon au cours d'une période de 30 jours • 240/100 ml (maximum)	• Secondaire • Floculation^g • Filtration^h • Désinfection
Retenues d'eau à usage récréatif sans restrictions	• ≤2,2/100 ml • ≤23/100 ml dans plus d'un échantillon au cours d'une période de 30 jours • 240/100 ml (maximum)	• Secondaire • Coagulation • Clarificationⁱ • Filtration^h • Désinfection

^a Sur la base de la médiane sur 7 jours d'exploitation.

^b Aucun contact entre l'eau récupérée et la partie comestible de la culture.

^c Aucune irrigation pendant au moins 14 jours avant la récolte, la vente ou l'autorisation d'accès au public.

^d Cimetières, aménagement paysager à libre accès, terrains de golf et autres espaces à accès réglementé.

^e Contact entre l'eau récupérée et la partie comestible des cultures; comprend les cultures à racine comestible.

^f Parcs, terrains de jeu, cours d'école, aménagements paysagers résidentiels, terrains de golf et autres espaces irrigués à accès non réglementé.

^g Non requis si la turbidité de l'effluent aux filtres est constamment mesurée, ne dépasse pas 5 NTU sur plus de 15 minutes et ne dépasse jamais 10 NTU, et s'il est possible d'activer automatiquement l'adjonction de produits chimiques ou de dévier les eaux usées si la turbidité du flux arrivant au filtre dépasse 5 NTU sur plus de 15 minutes.

^h La turbidité après passage à travers le filtre ne peut dépasser 2 NTU dans un délai de 24 heures, 5 NTU sur plus de 5% du temps dans un délai de 24 heures, et 10 NTU à tout moment. La turbidité après filtration à travers une membrane ne peut dépasser 0,2 NTU sur plus de 5% du temps dans un délai de 24 heures et 0,5 NTU à tout moment.

ⁱ Non requis si l'eau récupérée est surveillée à la recherche des entérovirus et des parasites *Giardia* et *Cryptosporidium*.

3. Pour d'autres applications - irrigation de cultures vivrières et de sites paysagers à accès libre, alimentation des retenues d'eau, écloseries piscicoles, chasse d'eau des toilettes et urinoirs, eau des procédés industriels, jets d'eau décoratifs, blanchisseries commerciales et lavage des voitures, production de neige artificielle, lutte anti-incendie structurelle, eau de refroidissement industrielle ou commerciale donnant lieu à vaporisation -, le critère de qualité bactérienne est fixé à 2,2 CT/100 ml. Le traitement requis dépend des applications et des valeurs de la turbidité; il varie du traitement secondaire suivi de désinfection au traitement secondaire suivi de floculation, clarification, filtration et désinfection.

Les normes sont fondées sur une qualité microbiologique qui est censée garantir que les risques infectieux sont réduits à un niveau acceptable, et sur les prescriptions de traitement qui déterminent la fiabilité du procédé en vue d'obtenir cette qualité microbiologique. Il s'ensuit que différentes prescriptions de traitement peuvent correspondre à la même qualité microbiologique selon l'évaluation des risques liés aux types respectifs d'utilisation: plus les risques sont élevés et plus l'est aussi la fiabilité requise.

Quand un contact humain direct ou indirect est susceptible de se produire, l'eau récupérée devrait être surtout exempte d'agents pathogènes, en particulier d'entérovirus, car de très faibles teneurs en virus peuvent déclencher une infection chez l'homme. Cette qualité microbiologique se caractérise par une valeur médiane sur 7 jours de coliformes fécaux inférieure à 2,2/100 ml, pas plus de 23 CT/100 ml dans plus d'un échantillon dans un délai de 30 jours et une valeur maximale de 240 CT/100 ml dans tout échantillon. En outre, la turbidité ne devrait pas dépasser 2 NTU après filtration sur une base de surveillance continue. Il a été démontré que ce critère détermine la capacité qu'a le procédé de traitement d'éliminer les virus. Il est admis que les procédés de traitement antiviraux permettent d'obtenir une eau exempte de parasites, en particulier *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum*.

Pour tous les types d'utilisation susceptibles d'entraîner un contact humain direct ou indirect, la Californie préconise des normes de qualité de l'eau plus strictes. Cependant, comme les coliformes se sont avérés être des indicateurs inappropriés des agents pathogènes qui sont plus résistants à la désinfection et moins facilement éliminés par les traitements physiques, on mise davantage sur la capacité prédéterminée d'un procédé à réduire tous les types d'agents pathogènes (Cooper et Olivieri, 1998). Eu égard au pouvoir qu'on les techniques de pointe de garantir une qualité d'eau plus sûre (autrement dit exempte d'entérovirus), il a été établi des prescriptions techniquement fondées pour réduire la présence d'agents pathogènes par le traitement ou par une combinaison de traitement et de restrictions à l'utilisation.

Les critères californiens de réutilisation de l'eau ont été critiqués pour leur excès de rigueur et leur manque d'une base scientifique solide. Les services de santé californiens ont choisi de ne pas recourir à des études épidémiologiques pour asseoir leurs normes de qualité de l'eau, en le justifiant avant tout par le fait que les études épidémiologiques ne sont pas sensibles à un faible niveau d'exposition. Il n'a pas été utilisé d'évaluations quantitatives des risques obtenues par modélisation pour établir les normes relatives aux agents pathogènes (Crook, 2001).

Pour évaluer l'innocuité de l'eau récupérée et de ses applications, la Règle de traitement de l'eau de surface émise par l'EPA des États-Unis a servi de référence. Des risques acceptables pour cette évaluation ont été définis comme satisfaisant au critère de risque infectieux de 10^{-4} (probabilité d'un cas d'infection sur 10 000 habitants dans une année) à au moins 90 et 95% du temps, (Asano *et al.*, 1992; Tanaka *et al.*, 1998). Le calcul reposait sur des données provenant de la surveillance de la teneur en virus des effluents secondaires non chlorés de quatre stations d'épuration de la Californie.

Tableau 4

Prévision du risque annuel d'infection pour une limite de confiance supérieure de 95% en recourant à la simulation de Monte Carlo

Traitement	Application	Risque annuel d'infection
Traitement complet (5, 2 log élimination d'entérovirus)	Irrigation des terrains de golf	$1,1 \cdot 10^{-7} - 6 \cdot 10^{-6}$
	Irrigation de cultures vivrières	$3,7 \cdot 10^{-10} - 2,1 \cdot 10^{-8}$
	Retenues à usage récréatif	$1,3 \cdot 10^{-5} - 6,8 \cdot 10^{-4}$
Chloration directe d'effluents secondaires (3, 9 log élimination d'entérovirus)	Irrigation de terrains de golf	$2,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-4}$
	Irrigation de cultures vivrières	$7,5 \cdot 10^{-9} - 4,1 \cdot 10^{-7}$
	Retenues à usage récréatif	$2,6 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-2}$
Effluents non chlorés (0 log élimination d'entérovirus)	Irrigation de terrains de golf	$1,7 \cdot 10^{-2} - 5,3 \cdot 10^{-1}$
	Irrigation de cultures vivrières	$5,9 \cdot 10^{-5} - 3,3 \cdot 10^{-3}$
	Retenues à usage récréatif	$6,2 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^0$

D'après Tanaka *et al.*, 1998.

Comme il ressort du tableau 4, toutes les applications d'effluents non chlorés entraînent des risques inacceptables. La chloration directe d'effluents secondaires se solde par des risques annuels inférieurs ou très inférieurs au niveau acceptable, à l'exception des retenues d'eau à usage récréatif où les risques pour les nageurs sont supérieurs au niveau acceptable. Un traitement complet, tel que celui requis par les normes californiennes (traitement secondaire plus coagulation, floculation, sédimentation, filtration et désinfection) réduit les risques très au-dessous du niveau acceptable, sauf pour les retenues à usage récréatif où la baignade est permise et où les risques sont à peu près acceptables. Même si certains des postulats de leur étude peuvent être contestés, Tanaka *et al.* (1998) communiquent des résultats qui étayent en partie les critiques adressées aux critères californiens de réutilisation de l'eau en avançant qu'ils pèchent par excès de rigueur et ne reposent pas sur des données scientifiques solides. Par exemple, si le traitement complet requis par ces normes permet d'abaisser les risques courus par les nageurs - supposés ingérer 100 ml d'eau/jour - à un niveau acceptable, comme définie par la Règle de l'EPA, vaut-il la peine d'investir pour le même traitement de haut niveau en vue d'irriguer des cultures vivrières ou pour d'autres applications où l'exposition est inférieure de plusieurs ordres de grandeur? Le coût du traitement des eaux usées visant à répondre à des normes aussi élevées pourrait être inutilement prohibitif dans de nombreux cas. Plusieurs experts estiment que des normes rigoureuses de qualité de l'eau ne sont pas justifiées (Barcelone, 27-28 janvier 2000 et Rabat, 8-10 octobre 2001).

2.1.2. Directives OMS pour la réutilisation des eaux

En 1973, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a proposé des critères sanitaires et des procédés de traitement pour les applications de la réutilisation couvrant tout l'éventail de celles-ci, depuis l'irrigation des cultures non destinées à la consommation humaine jusqu'à la production d'eau potable. Des directives relativement strictes ont été recommandées pour la qualité des effluents destinés à irriguer les cultures à consommer crues: une valeur guide de 100 coliformes/100 ml a été fixée pour une irrigation sans restrictions. Ces recommandations se fondaient sur le concept de "risque zéro". Les directives contenaient des recommandations pour le traitement: secondaire (boues activées,

filtres percolateurs ou étangs de stabilisation, suivis de chloration ou de filtration + chloration). L'application de ces techniques de traitement (sauf les bassins de stabilisation) est restée hors de portée pour la plupart des pays en développement et elle a conduit les autorités, dans certains cas, à tolérer l'utilisation indirecte d'eaux usées non traitées. Peu nombreux sont les pays qui ont mis en place des projets de réutilisation en se conformant à ces directives.

Selon les directives OMS pour la réutilisation de l'eau (1973), il fallait admettre que: 1) appliquer des normes du type eau potable (2,2 coliformes/100 ml) pour la réutilisation de l'eau n'était guère réaliste et manquait de fondement épidémiologique; 2) rares, voire inexistants, étaient dans le monde les cours d'eau utilisés pour une irrigation sans restriction de légumes consommés crus qui puissent présenter une eau d'une telle qualité; 3) il y avait peu, sinon aucun des pays en développement capables de satisfaire à de telles normes de réutilisation. En 1985, les directives ont été réexaminées et la nature des risques sanitaires associés à l'agriculture et à l'aquaculture a été révisée. Les preuves épidémiologiques sur les agents pathogènes ont été réexaminées, actualisées, et l'approche adoptée pour l'évaluation du risque microbiologique a été confirmée (Feachem *et al.*, 1983; Shuval *et al.*, 1986; Strauss et Blumenthal, 1989).

L'approche épidémiologique de l'évaluation des risques sanitaires a permis d'infléchir les directives sur la réutilisation de l'eau récupérée, l'objectif restant qu'aucun risque effectif d'infection de la population exposée ne puisse être attribué à la réutilisation de l'eau. En 1989, l'OMS a publié un nouvel ensemble de directives sur la qualité microbiologique pour la réutilisation de l'eau récupérée dans l'agriculture et l'aquaculture (tableau 5). D'autres utilisations à des fins non potables n'étaient pas prises en compte. Les directives fixent des valeurs ≤ 1000 CF/100ml et ≤ 1 œuf de nématode intestinal/l pour une irrigation sans restrictions, et seulement ≤ 1 œuf de nématode intestinal/l pour une irrigation avec restrictions. Ces directives visaient à encourager la réutilisation de l'eau selon des modalités bien définies et acceptables au plan sanitaire.

Tableau 5

Directives OMS pour l'utilisation sans danger des eaux usées dans l'agriculture (OMS, 1989).

Catégorie	Conditions d'utilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux ^b (moyenne arithmétique nombre d'œufs par litre ^c)	Coliformes fécaux (moyenne géométrique nombre de CF par 100 ml ^c)	Traitement des eaux usées censé assurer la qualité microbiologique requise
A	Irrigation de cultures susceptibles d'être consommées sans cuisson, terrains de sport, parcs publics ^d	Travailleurs, consommateurs, public	≤ 1	$\leq 1000^d$	Bassins de stabilisation en série conçus pour obtenir la qualité microbiologique indiquée, ou traitement équivalent
B	Irrigation de cultures céréalières,	Travailleurs	≤ 1	Pas de norme recommandée	Séjour en bassins de stabilisation pendant 8-10

	cultures industrielles, cultures fourragères, prairies et arbres ^e				jours ou élimination équivalente des helminthes et coliformes fécaux
C	Irrigation localisée de cultures de la catégorie B si pas d'exposition des travailleurs et du public	Aucun	Sans objet	Sans objet	Prétraitement comme requis par la technique d'irrigation, mais au minimum sédimentation primaire

^a Dans des cas spécifiques, des facteurs épidémiologiques, socio-culturels et environnementaux locaux devraient être pris en compte et les directives modifiées en conséquence.

^b Espèces *Ascaris* et *Trichuris*, et ankylostomes.

^c Pendant la période d'irrigation.

^d Une valeur guide plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est indiquée pour les pelouses publiques, comme celles des hôtels, avec lesquelles le public peut venir en contact.

^e Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation devrait cesser deux semaines avant la cueillette des fruits et aucun fruit ne devrait être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion ne devrait pas être effectuée.

Les recommandations OMS prennent en compte le procédé de traitement des eaux usées, le système d'irrigation, le groupe exposé et les cultures à irriguer. Elles portent sur les diverses options de protection de la santé telles que le traitement des eaux usées, les conditions restrictives imposées aux cultures, les contrôles d'application et le contrôle de l'exposition humaine. Une approche multi-barrières tout au long du cycle de l'eau combinant différentes mesures est considérée comme un élément important. D'autres précautions comme le port d'une combinaison de protection et une meilleure hygiène, la cuisson, la mise à disposition de moyens de lavage appropriés, le contrôle de l'exposition humaine, la promotion de l'hygiène, etc., sont également recommandées.

Les directives OMS (1989) ont permis un véritable essor de la réutilisation des eaux usées et renforcé dans plusieurs pays l'acceptation de cette pratique parmi les décideurs, ingénieurs, responsables sanitaires et le public. Elles ont été adoptées dans un certain nombre de pays en développement comme de pays développés. Mais elles font toutefois l'objet d'une controverse, en particulier à propos du critère de la moyenne géométrique de $CF \leq 1000 / 100\text{ml}$ pour une irrigation sans restrictions et l'on met en question la possibilité qu'aurait la valeur limite de coliformes fécaux de protéger contre les virus ainsi que la valeur limite des œufs de nématode de protéger contre les parasites protozoaires puisque les virus et les protozoaires ne sont pas facilement éliminés par des procédés de traitement classiques et la désinfection (Blumenthal *et al.*, 2000). Enfin, elles sont considérées comme trop laxistes et n'assurant pas la sécurité du public (Crook et Surampalli, 1996).

Bien qu'on ne dispose pas d'éléments scientifiques démontrant qu'elles n'auraient pas permis de protéger la santé publique, les directives OMS (1989) sont en cours de révision, laquelle est fondée sur une évaluation des risques, des études épidémiologiques complétées par des investigations microbiologiques et une évaluation quantitative des risques microbiologiques sur la base de modèles pour certains agents pathogènes (Blumenthal *et al.*, 2000). De nouvelles données épidémiologiques principalement fondées sur des études réalisées au Mexique sont prises en compte, de même que des données

d'évaluation quantitative des risques microbiologiques pour de faibles expositions dans des zones où les affections entériques ne sont pas élevées. Cette révision a permis:

- la validation des directives bactériologiques pour une irrigation sans restrictions;
- le renforcement des normes parasitologiques; et
- le renforcement des directives microbiennes pour les utilisations soumises à restrictions, en fonction de la méthode d'irrigation.

2.1.3. Observations

Quelques exemples permettent d'illustrer les grandes différences entre les approches californiennes et OMS.

- S'agissant du traitement des eaux usées, les directives OMS recommandent des bassins de stabilisation en série ou un traitement équivalent pour répondre aux normes de qualité microbienne de l'eau pour l'irrigation de cultures vivrières à consommer crues alors que les critères californiens stipulent un traitement biologique secondaire classique des eaux usées, suivi de floculation, filtration et désinfection au chlore.
- Les directives OMS exigent la surveillance des nématodes intestinaux et des coliformes fécaux, alors que les critères californiens reposent sur des systèmes de traitement et la surveillance de la densité des coliformes fécaux pour évaluer la qualité microbiologique, les coliformes fécaux étant une mesure plus prudente de l'efficacité de la désinfection dans l'eau récupérée que les coliformes totaux. Pour la plupart des applications, les normes OMS sont moins contraignantes que les normes californiennes: pour l'irrigation sans restrictions, les directives OMS indiquent ≤ 1000 CF/100 ml contre ≤ 2 , 2 CT/100 ml pour les critères californiens, et pour l'irrigation des pâturages, des cultures destinées à la transformation commerciale et des cultures fourragères l'OMS ne fixe qu'une limite guide sur la présence d'œufs de nématode alors que les critères californiens exigent ≤ 23 CT/100 ml.
- Les critères californiens de réutilisation ne se fondent ni sur des études épidémiologiques ni sur des données de la modélisation de l'évaluation quantitative des risques (Crook *et al.*, 2001), alors que les directives OMS reposent sur les preuves épidémiologiques et technologiques disponibles concernant les risques sanitaires associés à l'irrigation au moyen d'eaux usées.

Les approches OMS et californienne sont alors hypothéquées par des questions et incertitudes d'ordre scientifique et de gestion qui devraient être levées pour établir des normes valables à l'échelon mondial.

2.2 Réglementations existantes concernant la réutilisation des eaux usées en Méditerranée

La gestion des eaux usées en Méditerranée varie d'un pays à l'autre, en fonction des normes utilisées, de leur mode d'établissement et du caractère effectif de leur application. Les pays où la réutilisation se développe sur une base nationale, dans un cadre institutionnel organisé, ont élaboré et mis en œuvre leurs propres réglementations et normes précises. Dans d'autres pays, il est seulement fait référence à des normes sanitaires. Certaines des différences importantes que l'on relève entre les normes sont dues, en partie, à des différences d'approches de la santé publique et de la protection de l'environnement. Par exemple, il est des pays qui tendent à réduire les risques au minimum, alors que d'autres visent une protection contre des effets nocifs qui font l'objet d'une anticipation plausible. Il en résulte des différences importantes dans les normes (ensemble de critères physico-

chimiques et microbiologiques) entre les pays (tableau 6) et même au sein d'un même pays, comme c'est le cas en Espagne ou en Italie. Les différences concernent également les prescriptions générales, les pratiques de gestion, les normes opérationnelles, la fréquence des obligations de surveillance, etc.

Toute une série de démarches ont été adoptées par divers organismes pour réglementer la qualité de l'eau destinée à des systèmes de réutilisation. Ces différences tiennent le plus souvent aux pratiques d'irrigation existantes, aux conditions locales du sol, au souci de protéger la santé publique, aux choix des techniques d'irrigation ou d'épuration des eaux usées et à la nécessité de maintenir des coûts peu élevés.

Pour l'heure, il n'existe aucune réglementation sur la réutilisation de l'eau au niveau européen. La seule référence dans ce domaine est l'article 12 de la directive européenne sur les eaux usées (91/271/CEE, UE, 1991) qui stipule que "les eaux traitées doivent être utilisées chaque fois qu'il y a lieu".

S'agissant des réglementations nationales, il est possible de distinguer trois groupes de pays:

1. ceux qui ne possèdent ni lignes directrices ni normes: Albanie, Algérie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Égypte, Grèce, Liban, Libye, Malte, Monaco, Maroc, Slovaquie, Syrie et Turquie;
2. Ceux qui ont adopté un ensemble de critères de qualité de l'eau sur la base des directives OMS (1989), ce qui signifie que l'utilisation y est pratiquée avec un faible niveau de risque: Espagne (Andalousie, îles Baléares, etc.), France, Italie (Sicile) et Tunisie;
3. Ceux qui ont élaboré des réglementations proches du "Titre 22 californien" sur les normes de réutilisation des effluents (1978) avec des niveaux de risque minimaux: Chypre, Israël, Italie.

Les normes publiées à Chypre, en Espagne, en France, en Israël, en Italie et en Tunisie figurent aux annexes du présent rapport.

Tableau 6

Comparaison des critères et limites maximales pour les cultures à consommer crues et cuites irriguées au moyen d'eaux récupérées, fixées par l'OMS, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA), l'État de Californie et quelques pays méditerranéens (d'après Angelakis *et al.*, 2001).

Paramètres	Californie ¹ T-22 (1978)	US.EPA (1992)		OMS (1989)		Chypre (1997)		France (1991)		Israël (1999)		Italie (1977)		Espagne (1995)		Tunisie (1989)	
Type de réglementation	Loi	Lignes directrices		Directives		Normes provisoires.		Lignes directrices		Lignes directrices		Loi		Lignes directrices		Loi	
Type d'irrigation	Sans restrict..	Sans restrict.	Restrict.	Sans restrict.	Restrict.	Sans restrict..	Restrict.	Sans restrict.	Restrict.	Sans restrict.	Restrict.	Sans restrict.	Restrict.	Sans restrict.	Restrict.	Restrict.	
Traitement minimal requis	Traitement de pointe	Traitement de pointe		Traitement mécanisé ou bassins de stabilisation ²		Traitement mécanisé ou bassins de stabilisation ²		Traitement mécanisé ou bassins de stabilisation ²		Traitement secondaire		Traitement secondaire		Traitement secondaire		Traitement secondaire	
Principaux procédés de traitement	Oxyd., clarif., filtr., Désinf.	Sec., filtr., Désinf.	Sec., Désinf.	Bassins de stabil. ou équivalents.		Sec., tert., Désinf.	Sec., stockage ou bassins stabil.	Bassins stabil. >10 j ou équiv.	Bassins stabil. >30 j ou équiv.	Filtration sur sable équival. + désinf.	Prescriptions qualité et multi-barrières (cf annexes)		Sec., filtr. or équiv.+ Désinf.	Sec., Désinf.	Traitement second.		
DBO ₅ totale (mg/l)	-	10	30	-	-	10-15	20-	-	-	20			-	-	-	-	30
DBO ₅ dissoute (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
DCO (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	90
MES (mg/l)	-	5 ⁴	30	-	-	10-15	30-	-	-	30			-	-	-	-	30
Turbidité (NTU) 2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
OD (mg/l)	Présent	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5			-	-	-	-	-
TC (NPP/100 ml)	2,2 (50%) ⁵	-	-	-	-	-	-	-	-	-			2	20	<10	<200	-
FC (NPP/100 ml)	-	0 ⁶	≤200	1000	-	5-100	200-1000	1000	-	10			-	-	“	“	-
Helminthes (œufs/100 ml) ⁷	-	-	-	≤1	≤1	0	0	≤1	≤1	-			-	-	<1	<1	<1
Cl ₂ résid. dispon.(mg/l)	Présent	1,0	1	-	-	-	-	-	-	1,0			-	-	-	-	-
pH	-	6-9	6-9	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	6,5-8,5
CE (Ss/m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	7
SAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			SAR<15 ⁸	SAR<1 ⁸	-	-	-
Éléments traces	-	-	-	-	-	Oui	Oui	-	-	-			Oui	-	-	-	Oui

¹ Irrigation par aspersion

² Bassins de stabilisation en série avec temps de séjour approprié;

⁴ Si MES utilisées au lieu de la turbidité;

⁸ Taux d'absorption du sodium (SAR) = $\text{Na}/[(\text{Ca}+\text{Mg})/2]^{1/2}$

⁵ Ne doit pas dépasser 23/100 cm³ à un seul test mensuel;

⁶ Ne doit pas dépasser 14/100 cm³ à tout moment donné;

⁷ Nématodes tels qu'*Ascaris*, *Trichuris* et ankylostomes.

3. PROJET DE PROPOSITION DE LIGNES DIRECTRICES MÉDITERRANÉENNES POUR LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES EN APPUI À LA MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME D'ACTIONS STRATÉGIQUES

3.1 Introduction

Des réunions qui se sont tenues précédemment à Barcelone (27-28 janvier 2000) et à Rabat (8-10 octobre 2001) ont montré que l'établissement de lignes directrices méditerranéennes pour l'utilisation des eaux résiduaires urbaines n'est pas une tâche facile. Malheureusement, dans cette petite partie du monde, les lignes directrices et réglementations existantes, qui devraient avoir permis de dégager un consensus satisfaisant, résultent d'au moins deux approches très différentes qui entraînent d'importantes disparités entre les dispositions en vigueur dans la région.

3.2 Principes

Le constat a été fait d'une absence de lignes directrices internationales très complètes et d'un déficit de connaissances et de données scientifiques. Dans les approches très rigides, les principes qui sous-tendent les lignes directrices ne sont pas toujours scientifiquement fondés, les normes relatives aux agents pathogènes ne sont pas des concentrations limites fixées en fonction des risques pour les divers agents mais sont des prescriptions d'ordre technique destinées à réduire la présence d'agents pathogènes et les possibilités d'exposition à ceux-ci par le traitement des eaux usées ou par la combinaison de leur traitement et de restrictions à leur réutilisation.

Il existe peu d'études concernant les risques sanitaires microbiologiques dans l'environnement. Les données de la bibliographie sur les études épidémiologiques sont plutôt restreintes et portent avant tout sur la contamination microbiologique des eaux de baignade et de l'eau de boisson. Un nombre très réduit d'études épidémiologiques ont été réalisées sur l'utilisation à des fins non potables: les études faites au Mexique et à Jérusalem constituent une exception.

Pour évaluer l'innocuité des applications de la récupération et de l'utilisation des eaux usées, des normes relatives à l'eau potable et aux eaux de baignade ont servi de référence. Des critères de qualité des eaux de baignade ou de l'eau de boisson devraient-ils être adoptés comme référence pour l'irrigation et les réutilisations urbaines sans restriction (cultures de légumes consommés crus, terrains de golf, jardins publics, arrosage de vergers, etc.)? Toutes les réutilisations des eaux usées à des fins non potables n'exigent pas, tant s'en faut, une qualité d'eau de boisson ni même une qualité d'eau de baignade. Cependant, les risques d'infection considérés comme acceptables quand ils se rapportent aux eaux de baignade ou à l'eau potable peuvent servir de références pour les lignes directrices sur la réutilisation.

Pour être utiles et contribuer efficacement à améliorer la santé humaine et à atténuer les pénuries de ressources en eau, les lignes directrices doivent tenir compte des conditions locales. Si les pays de la rive Nord, pris dans leur ensemble, sont développés, industrialisés et de plus en plus dotés de stations d'épuration des eaux usées en conformité avec la directive UE sur l'élimination des eaux usées (UE, 1991), l'économie de la rive Sud - à de rares pays près - est très à la traîne, avec une politique médiocre de gestion de l'eau, pratiquement pas de stations d'épuration des eaux usées et des maladies endémiques liées aux carences de l'hygiène publique. Les exploitants agricoles des deux rives ne sont guère habitués à payer l'eau qu'ils utilisent; quand ils le font, les redevances qu'ils acquittent ne couvrent qu'une faible partie du coût et ils sont plus que réticents à l'idée de payer davantage. C'est pourquoi les lignes directrices proposées devraient prévoir une protection efficace pour les populations des deux rives, y compris les touristes voyageant d'une rive à

l'autre et les consommateurs de fruits et légumes exportés, mais sans exiger des traitements des eaux hors de portée. Des réglementations trop rigoureuses ne peuvent être appliquées et finissent par être ignorées.

Ces vues sont partagées par plusieurs experts, en particulier par ceux qui ont récemment évalué les directives OMS (Blumenthal *et al.*, 2000). Leurs travaux reposaient sur une évaluation des risques en recourant à des études épidémiologiques complétées par des investigations microbiologiques et une évaluation quantitative modélisée des risques. Leurs résultats ont été largement utilisés, en y ajoutant quelques données de la modélisation et en retenant comme références les risques annuels acceptables relatifs à l'eau de baignade et à l'eau de boisson.

3.3 Principaux risques sanitaires

Les risques sanitaires potentiels d'une réutilisation des eaux usées sont liés à la présence dans ces eaux récupérées d'agents pathogènes et de constituants chimiques:

- Une propagation possible de maladies infectieuses par des agents pathogènes d'origine hydrique est le problème le plus courant associé aux usages non potables. La majeure partie des cas de maladie documentés étaient liés à une contamination par des bactéries et des parasites (Crook, 1998).
- Les constituants chimiques posent un problème sanitaire majeur pour un usage potable indirect mais non pas pour des usages urbains d'eau récupérée; ils peuvent aussi avoir des incidences sur des applications agricoles et industrielles. Les produits chimiques toxiques peuvent induire des effets sanitaires néfastes quand ils sont absorbés ou inhalés ou quand il y a contact humain avec l'eau. Les métaux lourds s'accumulent dans l'environnement et peuvent être toxiques pour les végétaux; le cadmium, le cuivre, le molybdène, le nickel et le zinc peuvent être préjudiciables à l'animal et à l'homme. Les teneurs en métaux lourds des effluents traités secondaires présentent généralement des niveaux acceptables pour la plupart des usages non potables. Il convient de prêter attention aux effets des matières organiques et des métaux lourds dans l'eau récupérée qui sert à l'irrigation de cultures quand les effluents industriels constituent une fraction importante des eaux usées. Le principal impact des éléments nutritifs est l'accumulation possible de nitrates dans les aquifères.

Les réutilisations à des fins non potables sont et resteront longtemps la grande majorité des projets de réutilisation d'eau récupérée en Méditerranée. Par conséquent, les lignes directrices sanitaires proposées seront axées sur les critères microbiologiques. Élaborer des lignes directrices sur les éléments toxiques déborde du cadre du présent document. Des valeurs guides pour la qualité chimique de l'eau d'irrigation sont disponibles dans Ayers et Westcot (1985) et dans Chang *et al.* (1998). Les impacts d'éventuels constituants organiques stables doivent être envisagés au cas par cas quand l'on suspecte le rejet d'effluents industriels nocifs dans le réseau d'égouts public.

3.4 Critères

Trois critères de qualité de l'eau sont proposés: œufs de nématode, coliformes fécaux ou *Escherichia coli*, et matières en suspension (MES). Les traitements susceptibles d'obtenir la qualité de l'eau requise sont également proposés (tableau 7).

En raison de l'inégalité des niveaux de développement, les risques sanitaires liés aux parasites transmis par l'eau restent une préoccupation importante dans plusieurs pays méditerranéens. C'est pourquoi des limites relatives aux œufs de nématode doivent encore être incluses dans les lignes directrices méditerranéennes.

Les coliformes fécaux ou *E. coli* sont, avec les coliformes totaux, les indicateurs bactériens les plus couramment utilisés pour les normes de qualité de l'eau, en particulier pour la réutilisation, l'eau de baignade et l'eau de boisson. Les coliformes fécaux sont un indicateur largement utilisé pour le rendement d'épuration. Leurs concentrations sont actuellement surveillées dans de nombreux pays méditerranéens. La concentration en coliformes fécaux est le critère bactérien des directives OMS.

Mesure des MES (au lieu des NTU - unités néphélométriques de turbidité): la turbidité est un critère retenu pour plusieurs normes de réutilisation, en particulier dans les réglementations très strictes; par exemple, les normes californiennes stipulent que lors qu'un contact direct ou indirect avec l'eau récupérée est susceptible de se produire, la turbidité ne doit pas dépasser une moyenne quotidienne de 2 NTU. Les normes de turbidité sont en rapport avec le pouvoir d'épuration virale des procédés de traitement tertiaire. Bien que la mesure de la turbidité offre l'avantage de permettre une surveillance continue et devrait être retenue de préférence pour cette raison, la mesure des matières en suspension (MES) serait considérée comme une prescription minimale en Méditerranée. C'est une mesure largement pratiquée qui permet d'établir un lien entre les lignes directrices et la directive UE sur l'élimination des eaux usées (UE, 1991) signifiant qu'un traitement secondaire est requis.

3.5 Catégories d'applications de la réutilisation et qualité de l'eau

Seules sont envisagées quatre catégories de réutilisations de l'eau récupérée en vue de faciliter l'application des lignes directrices. Le rapport coût-efficacité de la réutilisation de l'eau a également été pris en compte dans la mesure où, dans une même zone, un réseau d'approvisionnement en eau récupérée doit servir au plus grand nombre possible d'applications. Les catégories sont les suivantes (tableau 7):

- ***Catégorie I : réutilisations à des fins urbaines et résidentielles, retenues d'eau paysagères et récréatives***
 - a) Réutilisations résidentielles: arrosage des jardins privés, chasse d'eau des toilettes, lavage des véhicules.
 - b) Réutilisations urbaines: irrigation des zones à libre accès (espaces verts, parcs, terrains de golf et de sport), lavage des rues, lutte anti-incendie, jets d'eau/cascades et autres lieux de loisir.
 - c) Retenues d'eau paysagères et récréatives: bassins, plans d'eau et cours d'eau à usage récréatif où un contact occasionnel avec l'eau est permis (à l'exception de la baignade).
- ***Catégorie II : irrigation sans restrictions, retenues d'eau paysagères (contact avec l'eau interdit), et réutilisations industrielles***
 - a) Irrigation de légumes (irrigation de surface ou par aspersion), fourrage vert et prairies de pâture directe, irrigation par aspersion des arbres fruitiers.
 - b) Retenues d'eau paysagères: bassins, plans d'eau et cours d'eau ornementaux où le contact du public avec l'eau est interdit.
 - c) Utilisations industrielles (sauf pour les industries alimentaires, des boissons et pharmaceutique).
- ***Catégorie III : irrigation agricole restreinte***
 - a) Irrigation de céréales et de graines oléagineuses, de plantes fibreuses et de semis, de fourrage vert sans pâture direct, cultures destinées aux industries de la conserve, cultures industrielles, arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion), pépinières, pépinières ornementales.
 - b) Irrigation paysagère: espaces boisés, espaces verts sans accès du public.

- **Catégorie IV : irrigation par des systèmes ou méthodes d'application de l'eau récupérée assurant un degré élevé de protection contre la contamination**
 - a) Irrigation de légumes (sauf tubercules, racines, etc.) par des systèmes en surface et réseaux enterrés (à l'exception de la micro-aspiration) et/ou en recourant à des pratiques (telles que les paillis en plastiques, les étais, etc.) garantissant l'absence de contact entre l'eau récupérée et la partie comestible des légumes.
 - b) Irrigation de cultures de la catégorie III avec des systèmes d'aspersion (tels que goutte-à-goutte, barbotage, micro-aspiration ou ruissellement par réseau enterré).
 - c) Irrigation par aspersion en surface de ceintures et espaces verts sans accès du public.
 - d) Irrigation de parcs, terrains de golf et de sport par ruissellement en réseau enterré.

Les catégories I à IV sont des réutilisations à des fins non potables pour lesquelles sont proposés des critères de qualité de l'eau. Il a souvent été signalé que la qualité de l'eau récupérée changeait au cours du transport et du stockage; elle peut se dégrader ou s'améliorer en fonction de son état initial, du temps de séjour, des caractéristiques des systèmes de transport et de stockage et de l'environnement. Cette évolution soulève la question de l'emplacement où il convient de surveiller la qualité de l'eau. Comme il n'est pas recommandé de dispositions spécifiques, telles que la chloration, pour empêcher la dégradation de la qualité microbienne tout au long du transport et du stockage, la qualité microbienne devrait être mesurée à la sortie du système de traitement (station d'épuration + stockage, si ce stockage fait partie du procédé de traitement) et au site d'utilisation en vue d'évaluer l'amélioration ou la dégradation éventuelle de la qualité de l'eau.

Les traitements des eaux usées censés répondre aux critères ont été définis pour chaque catégorie d'eau. En cas d'utilisation agricole, la capacité qu'ont les systèmes ou méthodes d'application de l'eau récupérée, comme l'aspersion en surface ou le ruissellement par réseau enterré, d'assurer un degré élevé de protection contre la contamination (et d'utiliser l'eau plus efficacement) a été prise en compte.

3.6 Lignes directrices

3.6.1. Catégorie d'eau I

Une seule catégorie d'eau est proposée pour les usages résidentiels, urbains et paysagers ainsi que pour les retenues d'eau récréatives et les réalimentations de cours d'eau, et ce du fait qu'ils présentent des niveaux de risque comparables et aussi pour faciliter la mise en place de doubles réseaux de distribution d'eau dans les villes de Méditerranée. Le développement des utilisations à des fins urbaines et paysagères, enjeu majeur des prochaines années, devrait permettre une augmentation spectaculaire du volume d'eaux usées réutilisées. Pour être rentable, un réseau de distribution d'eau récupérée doit servir au plus grand nombre d'applications non potables possible dans une même zone.

Les applications non potables d'eau récupérée qui comportent les plus gros risques pour la santé sont énumérées dans la présente section. Par conséquent, la catégorie d'eau I devrait satisfaire aux critères les plus rigoureux.

Critère bactérien

Aux termes des directives OMS, l'irrigation des terrains de sport et des parcs publics est classée dans l'irrigation de catégorie A, avec l'irrigation des légumes à consommer crus; la valeur guide bactérienne recommandée étant une moyenne géométrique de 1000 CF/100 ml (OMS, 1989). Une valeur guide plus rigoureuse (≤ 200 CF/100 ml) est recommandée pour les pelouses avec lesquelles le public peut venir en contact direct. De fait, le groupe

scientifique qui a établi ces valeurs guides a considéré que, en cas d'accès direct du public aux pelouses et aux parcs, le risque potentiel pouvait être plus élevé que celui associé à l'irrigation des légumes consommés crus. Ainsi, une valeur guide de 200 CF/100 ml a été adoptée, comme l'ont recommandé Durand *et al.* (1986), qui ont réalisé une étude épidémiologique sur les effets sanitaires de l'irrigation paysagère au moyen d'eau récupérée à Colorado Springs. Cette valeur guide n'a pas été remise en cause par Blumenthal *et al.* (2000).

Comme la baignade est inévitablement associée à l'ingestion d'une quantité d'eau significative, les réglementations et lignes directrices concernant les eaux de baignade appellent une attention toute spéciale. Il est admis que la quantité moyenne d'eau qui est avalée au cours de la baignade est de l'ordre de 100 ml par jour (Tanaka *et al.*, 1998; López-Pila et Szewzyk, 2000), ce qui représente la plus forte ingestion quotidienne d'eau après la consommation de boisson (1 à 2 l/jour). La qualité de l'eau de baignade a fait l'objet de réglementations ou lignes directrices dans de nombreux pays. La directive européenne 76/160/CEE sur la qualité des eaux de baignade fixe des concentrations maximales de 500 CT/100 ml, 100 CF/100 ml et 100 streptocoques fécaux (SF)/100 ml, les valeurs limites obligatoires étant de 10 000 CT/100 ml et de 2 000 CF/100 ml (UE, 1976). Comme l'a relevé la Commission européenne, l'application de la directive a conduit à une amélioration importante et constante de la qualité des eaux de baignade (COM, 2000). Cependant, par manque d'études épidémiologiques, on dispose de fort peu de données sur l'amélioration de la santé des nageurs. Mariño *et al.* (1995) ont décelé des infections dermatologiques, mais pas d'atteintes entériques ou respiratoires, associées à des niveaux d'agents pathogènes dans l'eau de mer susceptibles d'être rapportées à une contamination fécale. Medema *et al.* (1995) ont communiqué dans une étude que des concurrents de triathlon ayant nagé dans une eau contenant 170 *E. coli* /100 ml et 13 SF/100 ml se sont plaints, dans la semaine qui a suivi l'épreuve, de symptômes pathologiques plus marqués, mais qui ne l'étaient pas significativement plus que ceux signalés par des coureurs cyclistes. La Commission européenne a envisagé une révision de la directive sur les eaux de baignade. Les normes microbiologiques de sa proposition finale reflèteront les recommandations des nouvelles directives sur les eaux à usage récréatif élaborées par l'OMS. Les recommandations OMS ont été révisées sur la base d'un examen de la littérature scientifique disponible et d'une étude épidémiologique menée par Kay *et al.* (1994). Ce travail a été critiqué par Muggleston *et al.* (2001) qui ont estimé qu'il aboutissait à une surestimation des risques sanitaires encourus par les nageurs. Les valeurs limites envisagées par la Commission sont de 50 entérocoques/100 ml dans les eaux côtières et de 400 *E. coli*/100 ml dans les eaux douces (COM, 2000).

Une valeur limite de 200 CF/100 ml (moyenne géométrique) a été recommandée par l'US EPA (1976) pour les eaux à usage récréatif (baignade). Bien qu'une étude menée par l'US EPA ait permis de calculer, pour une telle valeur, un taux supplémentaire saisonnier de morbidité de 8 pour 1000 nageurs en eau douce et de 19 pour 1000 nageurs en eau de mer (des chiffres que l'on peut également tirer d'une étude de López-Pila et Szewzyk, 2000), cette norme est actuellement en vigueur dans de nombreux États des États-Unis (US EPA, 1998). En Floride, la norme est également de 200 CF/100 ml, mais pas plus de 10% des échantillons ne doivent dépasser 400 CF/100 ml et une concentration ≥ 800 CF/100 ne doit être atteinte à aucun moment.

En 1986, les recommandations de l'US EPA ont été révisées:

- dans l'eau douce, la densité bactérienne ne devrait dépasser ni 126 *E. coli* par 100 ml ni 33 entérocoques par 100 ml.
- Dans l'eau de mer, la moyenne géométrique de la concentration en entérocoques ne devrait pas dépasser 35 par 100 ml (US EPA, 1986).

En Californie, les normes varient entre 20 et 2000 CF/100 ml; des limites ont également été fixées pour les entérocoques, soit une fourchette de 12 à 50 ufc/100 ml. La Nouvelle-Zélande a adopté une valeur limite de 126 *E. coli*/100 ml pour l'eau douce et une médiane saisonnière de 35 entérocoques/100 ml pour l'eau de mer.

Bien que l'on relève une tendance générale à renforcer les lignes directrices sur les eaux de baignade, des concentrations de 100-200 CF ou *E. coli* par 100 ml semblent être une norme largement acceptée pour l'eau douce. Il ressort des publications que ces réglementations sont en rapport avec un taux de morbidité gastro-intestinale saisonnière de 1 à 2%, considéré comme un risque acceptable. Il est quelque peu surprenant que ce risque paraisse accepté à l'échelle mondiale, mais cela peut s'expliquer par le risque annuel élevé de maladies gastro-intestinales parmi la population mondiale.

Les normes applicables à l'eau potable constituent une autre référence déterminante. Plusieurs auteurs ont évalué l'innocuité des applications de la réutilisation en recourant à la Règle US EPA de traitement des eaux de surface pour l'approvisionnement en eau domestique, aux termes de laquelle un risque annuel d'infection entérovirale égal ou inférieur à 10^{-4} par individu a été considéré comme acceptable (Tanaka *et al.*, 1998, Blumenthal *et al.*, 2000). Cette norme a été jugée trop rigoureuse, une valeur guide supérieure d'un ordre de grandeur étant appropriée (Haas, 1996).

Bien que contesté par Crook (1998), l'argument a été avancé que la norme microbienne pour l'eau de baignade peut être valable pour l'eau récupérée utilisée indirectement à des fins non potables. Les applications classées sous la catégorie I impliquent des contacts limités ou occasionnels avec l'eau récupérée (à l'exclusion de la baignade dans des retenues d'eau récréatives) et l'éventualité d'une ingestion ne dépassant pas 1 ml d'eau récupérée par cas d'exposition. Selon l'hypothèse de López-Pila et Szewzyk, (2000), et en postulant une concentration moyenne géométrique de 200 CF ou *E. coli* /100 ml et aucune réduction des agents pathogènes dans l'environnement, une évaluation approximative du risque d'infection annuel donne un chiffre compris entre $3,2 \cdot 10^{-3}$ et $3,2 \cdot 10^{-4}$ pour des fréquences d'exposition de 100 et de 10, respectivement. Ces chiffres sont supérieurs d'un ordre de grandeur ou d'un ordre de grandeur équivalent au risque annuel acceptable pour l'eau de boisson. Ils sont inférieurs d'un ou de deux ordres de grandeur au risque considéré comme acceptable pour la baignade. En dépit des importantes incertitudes et approximations qui entourent actuellement les études épidémiologiques et l'évaluation quantitative des risques par modélisation, l'on peut conclure que la valeur limite de 200 CF ou *E. coli* /100 ml offre une protection suffisante aux usagers et au public.

Il est proposé d'inclure la chasse d'eau des toilettes dans cette catégorie d'applications, bien que certains pays aient adopté des normes ou valeurs guides beaucoup plus strictes pour cette utilisation. Il convient de noter que le critère qui est en vigueur au Japon, pays où cette application de l'eau récupérée est la plus développée, est une concentration de $CT \leq 1000$ ufc/100 ml (Ogoshi *et al.*, 2001), valeur jugée proche de celle d'*E.coli.* $\leq 200/100$ ml.

Critère œufs de nématode

La plupart des utilisations de l'eau récupérée énumérées dans la catégorie I impliquent un contact direct occasionnel et une éventuelle ingestion d'eau. Par conséquent, le critère le plus strict est recommandé concernant les œufs de nématode. Les études passées en revue par Blumenthal *et al.* (2000) ont montré qu'une limite guide de 0,1 œuf/l est exigée pour une protection efficace des populations exposées. La détection d'une concentration aussi faible d'œufs de nématode nécessite d'échantillonner un volume de 20 à 50 l en fonction de la turbidité, d'observer un délai minimal de sédimentation sur place de 8

heures et d'ôter et éliminer avec soin le surnageant. Le résidu (90 à 95% du volume initial) est alors récupéré et transporté au laboratoire pour centrifugation et analyse selon les procédures OMS (1989) ou EPA (1992) (Schwarzbrod, 2002). Cependant, très rares, pour ne pas dire inexistantes, sont les études qui ont été menées sur les traitements permettant d'atteindre $\leq 0,1$ œuf de nématode/l à un coût acceptable. Par conséquent, ce critère devrait être considéré comme un objectif à moyen terme et provisoirement remplacé par ≤ 1 œuf de nématode/l.

Critère MES

Quel que soit le procédé, une faible teneur en matières solides en suspension (MES) est nécessaire pour que la désinfection soit efficace. Ainsi, une valeur guide de 10 mg/l est proposée, ce qui implique de procéder à une filtration avant désinfection dans la plupart des projets de réutilisation.

Traitement minimal recommandé

Bien que la valeur guide de 200 CF/100 ml ne diffère pas grandement de la norme de 1 000 CF/100 ml applicable à la catégorie II en termes de qualité bactérienne de l'eau, elle présuppose une différence importante dans les traitements requis. Des traitements importants, tels que lagunes, bassins de stabilisation et infiltration-percolation, destinés au finissage d'effluents secondaires, ne peuvent souvent garantir que la valeur guide de 200 CF/100 ml soit obtenue de manière sûre. Cette limitation est liée aux procédés, à leur mise en œuvre et aussi à la recontamination en stockage à l'air libre et dans l'environnement. Par conséquent, il convient de recourir à des traitements de désinfection plus classiques et à un stockage mieux sécurisé, ce qui implique un coût plus élevé des projets de réutilisation (Xu et Brissaud, 2002).

Les traitements recommandés pour obtenir 200 CF/100 ml devraient permettre d'atteindre également la valeur guide de 0,1 œuf de nématode/l.

3.6.2. Catégorie d'eau II

Les applications énumérées dans la catégorie II n'impliquent pas de contact direct des personnes avec l'eau récupérée. Cependant, l'irrigation de légumes, y compris ceux qui sont susceptibles d'être consommés crus, et des prairies pour pâture directe, ainsi que l'aspersion d'arbres fruitiers, sont des applications qui exigent une eau de haute qualité. Il s'agit de la catégorie de l'irrigation sans restrictions, qui a fait l'objet de controverses si vives parmi les experts. Les légumes à consommer cuits, comme les pommes de terre, les poireaux, les haricots, etc., et qui ne sont pas exclusivement cultivés pour l'industrie de la conserve, sont inclus dans la même catégorie que les légumes à consommer crus, car ils poussent souvent dans les mêmes champs et sont irrigués avec la même eau. Les mêmes critères de qualité sont proposés pour les retenues et plans d'eau paysagers où le contact du public avec l'eau n'est pas permis, du fait que, malgré cette interdiction, il arrive que ce contact se produise, surtout dans le cas de jeunes enfants.

Utilisation industrielle: la qualité de l'eau requise à des fins industrielles est spécifique du site et dépend de l'utilisation propre à chaque cas. Comme la réutilisation d'eau récupérée aux fins de refroidissement est fréquente et présente des risques potentiels dus aux aérosols et pulvérisations emportées par le vent, il est proposé d'appliquer les critères relatifs à l'irrigation sans restrictions comme prescription de qualité minimale pour les utilisations industrielles.

Critère bactérien

Les études les plus récentes qui peuvent être reliées à la validité de la valeur guide OMS de 1 000 CF/100 ml ont été passées en revue par Blumenthal *et al.* (2000). Les résultats des études épidémiologiques réalisées au Mexique donnent à penser que le risque d'infection intestinale par suite de consommation de légumes est significatif mais faible lorsque le dépassement de valeur guide est multiplié par 10 dans l'eau d'irrigation. Des tests réalisés au Portugal ont montré que:

- Des laitues irriguées avec des effluents secondaires de qualité médiocre ont d'abord été fortement contaminées puis ont satisfait aux critères recommandés par la Commission internationale des spécifications microbiologiques pour les aliments (ICMSF) 5 jours après l'arrêt de l'irrigation (Vaz da Costa-Vargas *et al.*, 1991);
- La qualité microbiologique des cultures irriguées avec de l'eau dépassant tout juste la valeur guide OMS était conforme à la norme ICMSF.

Par temps sec, la qualité microbiologique de laitues et radis irrigués au goutte-à-goutte ou par rigoles au moyen d'une eau dépassant légèrement la valeur guide OMS était très inférieure à la norme ICMSF et de meilleure qualité que celle de laitues vendues sur le marché local; cependant, un temps pluvieux dégradait la qualité microbiologique des laitues (Bastos et Mara, 1995). Shuval *et al.* (1997) ont constaté que le risque annuel de contamination à la suite de consommation de laitues irriguées par de l'eau récupérée conforme à la valeur guide OMS variait de 10^{-5} à 10^{-7} pour l'hépatite A, de 10^{-5} à 10^{-6} pour le rotavirus et s'établissait à environ 10^{-6} pour le choléra. Asano *et al.* (1992) ont calculé un risque annuel associé à la consommation de cultures irriguées par aspersion compris entre 10^{-6} et 10^{-9} pour 1 unité Virus/100 l et entre 10^{-4} et 10^{-7} pour une concentration virale 100 fois plus élevée; mais le postulat selon lequel l'irrigation est arrêtée deux semaines avant la récolte n'est pas toujours réaliste. En dépit de connaissances disparates sur les relations entre les entérovirus et les coliformes fécaux ou *E. coli*, Blumenthal *et al.* (2000) ont conclu que ces données confortent la valeur guide OMS de 1 000 CF/100 ml comme susceptible de produire un risque annuel d'infection virale inférieur à 10^{-4} .

En admettant l'ingestion de 1 ml d'eau et une fréquence d'exposition de 10 jours, le risque annuel d'infection par le rotavirus résultant de contacts avec une eau récupérée contenant 1 000 *E. coli*/100 ml dans une retenue d'eau paysagère où le contact du public avec l'eau n'est pas autorisé est estimé $< 2,10^{-4}$. Le risque quotidien d'une chute dans cette eau récupérée avec ingestion de 100 ml est estimé à environ $5,10^{-3}$.

Critère œufs de nématode

Blumenthal *et al.* (2000) ont déduit d'études expérimentales menées dans le nord-est du Brésil et à Leeds (Ayres *et al.*, 1992) ainsi que d'études épidémiologiques réalisées au centre du Mexique qu'il serait sage d'adopter une valeur limite guide de $\leq 0,1$ œuf/l. Cette valeur guide permettra de protéger les consommateurs de légumes, en particulier quand les conditions climatiques favorisent la survie d'œufs d'helminthe, et les travailleurs agricoles.

Critère MES

Une valeur limite de MES de 20 mg/l (150 mg/l pour les bassins de stabilisation) est proposée pour faire en sorte que les limites microbiennes soient bien respectées quand des traitements classiques sont utilisés.

Traitement minimal recommandé

Un traitement secondaire peut être réalisé dans des installations à technique classique ou faible à grande échelle. Un traitement primaire avancé peut permettre d'obtenir des performances suffisantes. La limite de 1 000 CF/100 ml permet de recourir à des techniques à grande échelle telles que bassins de maturation, réservoirs et infiltration-percolation pour le finissage des eaux usées en vue d'atteindre les valeurs guides microbiennes. La possibilité de recourir à des techniques de faible niveau et à de faibles coûts d'exploitation et de maintenance est tenue pour un facteur déterminant du développement programmé de la réutilisation des eaux usées dans de nombreux pays méditerranéens. Comme il est mentionné dans les recommandations de Blumenthal *et al.* (2000), une attention spéciale devrait être prêtée à la conception et au fonctionnement des réservoirs, étangs de stabilisation et de maturation, car les performances dépendent dans une très large mesure du climat et du programme d'alimentation/prélèvement. Dans les zones fortement peuplées, l'on aura peut-être recours de préférence à des techniques de désinfection classiques.

3.6.3. Catégorie d'eau III

Les applications énumérées dans la catégorie III (irrigation restreinte) excluent le contact direct des êtres humains ou des animaux avec l'eau récupérée (à l'exception des contacts occasionnels de travailleurs). Les cultures destinées à l'industrie de la conserve seront désinfectées lors du procédé de mise en boîte. Aucune pâture directe de fourrage vert ne sera permise. D'autres cultures, céréalières, de plantes fibreuses, industrielles, de semis, fourrage sec, etc., sont récoltées longtemps après que l'irrigation ait cessé. De ce fait, les risques liés à la santé sont considérablement réduits.

Critère bactérien

Il est proposé de n'inclure aucune valeur limite bactérienne pour l'irrigation restreinte. Les risques importants pour la santé ne sont pas liés à la consommation mais à la contamination éventuelle de travailleurs et de personnes se trouvant à proximité dans le cas d'irrigation par aspersion. Par conséquent, en pareil cas, il convient de fixer des distances d'éloignement entre les sites d'irrigation et les zones résidentielles, routes, terrains de sport, etc. Cette mesure est retenue de préférence à la fixation d'une valeur limite bactérienne de 10^5 CF/100 ml, comme il est proposé par Blumenthal *et al.* (2000), bien qu'une telle qualité puisse être atteinte après le traitement minimal requis pour satisfaire à la valeur limite de MES. Inclure une distinction entre l'irrigation par aspersion et l'irrigation par inondation et rigoles, avec une limite de 10^3 CF/100 ml pour cette dernière ne paraît pas pertinent dans les pays méditerranéens. Cependant, si un contact fréquent d'enfants ou de travailleurs avec des eaux usées est observé et ne peut être évité, une telle limite devrait être fixée et appliquée; ainsi, fixer des distances d'éloignement ne serait pas judicieux, comme le montre l'analyse de Blumenthal *et al.*, (2000).

Les végétaux de pépinières ne devraient pas être irrigués par une eau de catégorie III deux semaines au moins avant d'être vendus.

Critère œufs de nématode

Comme pour le critère bactérien, il n'apparaît aucune raison suffisante pour passer de la limite de 1 œuf de nématode/l à une valeur plus rigoureuse, quelle que soit la technique d'irrigation (aspersion, rigoles et inondation). Cependant, dans les pays où un contact fréquent d'enfants et de travailleurs est observé et ne peut être évité, la limite de 0,1 œuf/l devrait être recommandée quand des techniques permettant de l'atteindre sont disponibles.

Critère MES

Une valeur limite guide de 35 mg de MES/l (150 mg/l pour les bassins de stabilisation) est proposée pour les eaux usées aient à subir un traitement secondaire ou un traitement primaire avancé avant d'être utilisées.

Traitement minimal recommandé

Comme il est mentionné plus haut, un traitement secondaire, ou un traitement primaire avancé, est requis, suivi d'un stockage de quelques jours, afin de répondre à la limite d'œufs de nématode. Des bassins d'oxydation ou un traitement secondaire suivi par des bassins de maturation peuvent aussi permettre d'atteindre les mêmes chiffres.

3.6.4. Catégorie d'eau IV

Une catégorie d'eau IV est proposée quand la combinaison de la technique d'irrigation et de la pratique agricole se traduit par des risques sanitaires microbiologiques très faibles. Les applications comprennent:

- des pratiques d'irrigation et de culture qui garantissent l'absence de contact des fruits et légumes avec les eaux usées et l'absence d'aérosols et de ruissellement ;
- l'irrigation au moyen de techniques à même de prévenir la formation d'aérosols et un ruissellement pour des cultures énumérées dans la catégorie III et des espaces verts où le public n'a pas accès;
- l'irrigation d'espaces verts ouverts au public et de terrains de sport qui garantit l'absence de contact du public avec l'eau utilisée.

Critères microbiens

Compte tenu du très faible niveau de risques sanitaires associé aux applications énumérées dans la catégorie IV, aucune valeur guide microbienne n'est fixée.

Critère MES et traitement recommandé

Aucune valeur guide MES n'est proposée. Cependant, les techniques d'irrigation par aspersion (goutte-à-goutte, barbotage, micro-aspersion et ruissellement sous la surface) nécessitent un traitement des eaux usées pour éviter l'obturation des réseaux de distribution et des appareils d'aspersion/projection. Une sédimentation primaire est vivement recommandée comme mesure minimale; les effluents primaires devraient être soumis à un procédé de filtration approprié à la technique d'irrigation qui a été adoptée.

3.7 Prescriptions en matière de gestion

Les prescriptions en matière de gestion sont destinées à préserver la santé publique. Elles sont centrées sur les pratiques d'exploitation tant du producteur que de l'utilisateur d'eau récupérée. Comme l'élimination complète des agents pathogènes n'est pas possible, des barrières multiples entre les agents pathogènes et les personnes susceptibles d'être exposés à de l'eau récupérée sont nécessaires pour réduire au minimum les risques pour la santé publique. Des barrières comme le temps de séjour en systèmes de stockage, certains systèmes d'irrigation, l'allongement de la distance au site d'application, des restrictions d'accès, des signaux d'avertissement, des mesures tendant à éviter ou prévenir les connexions croisées avec le réseau de distribution d'eau potable et les retours d'eau, et les réseaux de distribution codés, devraient réduire au minimum le contact direct avec des eaux potentiellement contaminées.

3.7.1. Prescriptions en matière de surveillance de la qualité de l'eau

La surveillance de la qualité de l'eau récupérée permet d'évaluer le rendement des opérations de traitement. Les indicateurs de la qualité de l'eau devraient être surveillés en analysant des échantillons composites ou aléatoires sur 24 heures. La fréquence d'échantillonnage pour différents critères de qualité de l'eau est spécifiée sur le tableau 8 pour un projet de taille moyenne (20 000 – 80 000 éq.-hab). La fréquence d'échantillonnage devrait être fixée en tenant compte des risques sanitaires liés aux applications de l'eau récupérée et de la taille du projet, en d'autres termes du nombre d'habitants exposés. Les résultats sont vérifiés au regard des limites numériques fixées pour différentes applications de la réutilisation. En outre, une surveillance périodique du sol devrait aussi être instaurée à des fins d'irrigation et agricoles.

Deux points de contrôle devraient être envisagés: i) le point où l'eau récupérée quitte le système de récupération (station d'épuration + stockage, si le stockage fait partie du procédé d'épuration), et ii) le point final d'utilisation où seul le critère bactériologique doit être pris en compte. Un laboratoire agréé devrait analyser les échantillons et les résultats être soumis à l'organisme chargé de la réglementation.

Quand une couche aquifère à nappe libre potable se trouve en dessous de zones agricoles irriguées avec de l'eau récupérée, il convient de mener un programme de surveillance des eaux souterraines. Une surveillance reposant sur une série de puits et de piézomètres doit être définie au cas par cas en fonction de la qualité de l'eau récupérée et du contexte hydrogéologique.

3.7.2. Surveillance du sol

L'accumulation de polluants menaçant la qualité agronomique de sols irrigués doit être surveillée. La fréquence du prélèvement d'échantillons de sols doit être adaptée au processus d'accumulation à long terme des polluants en cause.

3.7.3. Prescriptions en matière de fiabilité du traitement

Pour éliminer les risques pour la santé publique, il est essentiel que la station réponde aux normes fixées pour la qualité des eaux usées traitées, faute de quoi l'utilisation des eaux usées traitées devrait être interrompue. Par conséquent, des éléments assurant la fiabilité de l'installation d'épuration devraient être intégrés dans sa conception: alarmes, appareils électrogènes de secours et, s'il y a lieu, unités d'épuration d'appui ou multiples. Quand une unité d'épuration tombe en panne, des unités d'appui multiples, du matériel d'appoint, le stockage et l'apport de produits chimiques permettent à un procédé de remplacement de maintenir la continuité du courant d'eaux usées ou d'écouter le délai de réparation..

Tableau 7

Lignes directrices recommandées pour la réutilisation des eaux usées dans la région méditerranéenne

Catégorie d'eau	Critères de qualité			Traitement des eaux usées censé répondre aux critères
	Microbiologiques		Physiques-chimiques	
	Nématodes intestinaux ^(a) (nombre d'œufs par litre, moyenne arithmétique)	CF or <i>E. coli</i> ^(b) (ufc/100 ml, moyenne géométrique)	MES ^(c) (mg/l)	
Catégorie I				
a) Réutilisation à des fins résidentielles: arrosage de jardins privés, chasse d'eau des toilettes, lavage de véhicules.	≤ 0,1 ^(h)	≤ 200 ^(d)	≤ 10	Traitement secondaire + filtration + désinfection
b) Réutilisation à des fins urbaines: irrigation d'espaces à libre accès (ceintures vertes, parcs, terrains de golf, terrains de sport), nettoyage des rues, lutte anti-incendie, fontaines et autres aménagements de loisir.				
c) retenues d'eau paysagères et récréatives, masses d'eau et cours d'eau aménagés à des fins récréatives où un contact occasionnel du public avec l'eau est permis (à l'exception de la baignade).				
Catégorie II				
a) Irrigation de légumes (irrigation en surface ou par aspersion), de fourrage vert et prairies pour pâture directe, irrigation par aspersion des arbres fruitiers.	≤ 0.1 ^(h)	≤ 1000 ^(d)	≤ 20 ≤ 150 ^(f)	Traitement secondaire ou équivalent ^(g) + filtration + désinfection ou traitement secondaire ou équivalent ^(g) + soit stockage soit bassins de maturation en série bien conçus soit infiltration-percolation
b) Retenues d'eau paysagères: bassins/étangs, plans d'eau et cours d'eau à usage ornemental, où le contact du public avec l'eau est interdit.				
c) Réutilisations à des fins industrielles (sauf pour l'industrie alimentaire, des boissons et pharmaceutique).	-			

Catégorie III				
Irrigation des céréales et graines oléagineuses, plantes fibreuses et semis, fourrage sec sans pacage, cultures pour l'industrie de la conserve, cultures industrielles, arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion) ^(e) , pépinières, pépinières ornementales, arbres, espaces verts sans accès ouvert au public.	≤ 1	<10-5	≤ 35 ≤ 150 ^(f)	Traitement secondaire ou équivalent ^(g) + stockage pendant quelques jours ou systèmes de bassins d'oxydation
Catégorie IV				
a) Irrigation de légumes (sauf tubercules, racines, etc.) avec des systèmes d'aspersion en surface ou de ruissellement sous la surface (sauf la micro-aspersion) en recourant à des pratiques (comme les paillis en plastique, les étais, etc.) garantissant l'absence de contact entre l'eau récupérée et la partie comestible des légumes.	Aucun critère requis	Aucun critère requis	Prétraitement comme requis par la technique d'irrigation, mais au minimum sédimentation primaire	
b) Irrigation de cultures de la catégorie III au moyen de systèmes d'irrigation par aspersion (tels que le goutte-à-goutte, le barbotage, la micro-aspersion et le ruissellement sous la surface).				
c) Irrigation par des systèmes d'aspersion en surface des ceintures vertes ou espaces verts sans accès du public.				
d) Irrigation de parcs, terrains de golf, terrains de sport avec ruissellement sous la surface.				

^(a) Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes; la limite des lignes directrices est aussi destinée à protéger contre les risques provenant des protozoaires parasites.

^(b) CF ou *E. coli* (ucf/100mL): coliformes fécaux ou *Escherichia coli* (ufc: unité formant coloniet/100 mL). Cet indicateur devrait être surveillé de préférence une fois par semaine, ou au minimum une fois par mois

^(c) MES: matières en suspension.

^(d) Les valeurs doivent être conformes dans 80% des échantillons par mois; nombre minimal de 5 échantillons.

^(e) Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation devrait cesser deux semaines avec la cueillette des fruits et aucun fruit ne devrait être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion ne devrait pas être utilisée

^(f) Bassins de stabilisation.

^(g) Comme le traitement primaire avancé (Jimenez *et al.*, 1999 et 2001).

^(h) La valeur guide de ≤ 0,1 œuf de nématode /l est un critère de référence qui, une fois vérifié, ne nécessite pas une surveillance régulière.

Tableau 8

Prescriptions en matière de surveillance de la qualité de l'eau

Catégorie d'eau	Fréquence d'échantillonnage/Nombre d'échantillons par an		
	Critères de qualité		
	Microbiologiques		Physiques
	Intestinaux nématodes (nombre d'œufs par litre)	CF ou <i>E. coli</i> ^(a) (ufc/100 ml)	MES ^(b) (mg/l)
Catégorie I			
a) Réutilisation à des fins résidentielles: arrosage de jardins privés, chasse d'eau des toilettes, lavage de véhicules.	Une fois tous les quinze jours	Deux fois par semaine	Une fois par semaine
b) Réutilisation à des fins urbaines: irrigation d'espaces de libre accès (ceintures vertes, parcs, terrains de golf, terrains de sport), lavage des rues, lutte anti-incendie, fontaines et autres lieux de loisir.			
c) Retenues d'eau paysagères et récréatives: bassins, plans d'eau, et cours d'eau à des fins récréatives où un contact occasionnel est permis (sauf la baignade).			
Catégorie II			
a) Irrigation de légumes (irrigation en surface ou par aspersion), fourrage vert et prairies destinées à la pâture directe, irrigation par aspersion d'arbres fruitiers.	Une fois tous les quinze jours ^(c)	Une fois par semaine	Une fois par semaine (si possible, contrôler aussi la DBO pour évaluer l'efficacité du traitement)
b) Retenues d'eau paysagères: bassins, masses d'eau, et cours d'eau ornementaux où un contact du public avec l'eau n'est pas autorisé.			
c) Réutilisation à des fins industrielles: (sauf pour l'industrie agro-alimentaire).	-		
Catégorie III			
Irrigation de céréales et graines oléagineuses, plantes fibreuses et semis, fourrage sec, fourrage vert sans pâture directe, cultures pour l'industrie de la conserve, cultures industrielles, arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion), pépinières horticoles, pépinières ornementales, arbres, espaces verts sans accès au public.	Une fois par mois ^(c)	Une fois par mois	Une fois par mois

Catégorie IV			
a) Irrigation de légumes (à l'exception des tubercules, racines, etc.) avec des systèmes en surface et sous la surface (à l'exception de la micro-aspersion) en recourant à des pratiques (telles que les paillis en plastique, les étais, etc.) garantissant l'absence de contact entre l'eau récupérée et la partie comestible des légumes.			
b) Irrigation de cultures de la catégorie III par des systèmes d'aspersion (tels que goutte-à-goutte, barbotage, micro-aspersion et ruissellement sous la surface).	-	-	-
c) Irrigation par des systèmes d'aspersion en surface de ceintures vertes et espaces verts sans accès au public.			
d) Irrigation de parcs, terrains de golf, terrains de sport avec des systèmes souterrains.			

(a) CF ou *E. coli* (ufc/100ml): coliformes fécaux ou *Escherichia coli* (ufc : unité formant colonie/100 ml).

(b) MES: matières en suspension. Si possible, le relevé continu des NTU devrait être retenu de préférence.

(c) La surveillance régulière de la qualité n'est pas nécessaire si les eaux usées sont traitées en bassins de stabilisation ou en réservoirs de stockage et traitement séquentiels pour obtenir ce nombre d'œufs.

Comme mesure de précaution et pour éliminer les agents pathogènes tels que les virus et parasites, les méthodes de désinfection autres que la chloration (comme l'ozonation, les UV) visant à éviter une désinfection nocive par des produits chimiques devraient être envisagées quand l'effluent final contient des quantités significatives de carbone organique (DBO >40 mg/l) et d'ammoniac (NH_3 > 20 mg/l).

Les mesures visant à renforcer la fiabilité comprennent le prétraitement des eaux résiduaires industrielles et l'application effective des réglementations sur les rejets dans les égouts en vue de prévenir le déversement de déchets dangereux dans le réseau collecteur.

3.7.4. Stockage ou élimination d'urgence

Lorsque le procédé de traitement ne permet pas d'obtenir la conformité aux normes sanitaires, des dispositions concernant le stockage ou l'élimination des eaux usées non traitées ou partiellement traitées devraient être prévues.

3.7.5. Stockage de l'eau récupérée

Le stockage de l'eau récupérée est essentiel pour assurer la continuité de l'approvisionnement en eau récupérée dans le cas où la station d'épuration ne permettrait plus d'obtenir l'eau nécessaire ou de satisfaire aux critères de qualité de l'eau. Quand une autre source n'est pas disponible, une forme de stockage de l'eau récupérée devrait être

prévue dans le réseau de distribution. La capacité recommandée doit correspondre à la plus forte demande hebdomadaire sur une année. L'installation de stockage doit également être conçue pour faire partie du traitement et être dimensionnée en conséquence.

3.7.6. Prévention des connexions croisées entre réseaux et des retours d'eau

Quand il existe des réseaux de double distribution, les connexions croisées entre ces deux voies posent problème du fait qu'elles peuvent contaminer la distribution d'eau potable. On peut prévenir ces connexions en installant des dispositifs tels que le montage à double vanne de retenue, un dispositif de prévention du reflux par diminution de la pression et la séparation par intervalle d'air. Une documentation concernant les inspections de contrôle des connexions croisées est habituellement requise pour toutes les installations de réutilisation. Les renseignements suivants devraient aussi être communiqués: emplacement des canalisations du réseau d'eau recyclée et du réseau d'eau potable, type et emplacement des prises d'eau et éléments de plomberie accessibles au public.

3.7.7. Autres considérations concernant les réseaux d'eau récupérée

Toutes les canalisations d'eau récupérée devraient être marquées par une couleur code et leurs prises d'eau reconnaissables à une couleur caractéristique (rouge foncé généralement) indiquant qu'il s'agit d'eau récupérée.

Les appareils de prise d'eau devraient être conçus de manière à éviter toute erreur d'utilisation. Un personnel qualifié devrait contrôler les vannes et prises d'eau.

Des panneaux avertissant le public de l'utilisation d'eau récupérée et fournissant aux utilisateurs finals de celle-ci des indications sur l'origine, la nature et l'utilisation correcte d'eau récupérée devraient être apposés. Des avertissements (au moyen de symboles) devraient être placés en évidence aux vannes de retenue. Des mesures devraient aussi être prises pour prévenir le contact des animaux domestiques avec l'eau réutilisée.

3.7.8. Distance d'éloignement du site d'application

Les distances d'éloignement ménagent des zones tampons entre les installations d'eau récupérée et les zones où le public (ou une prise d'eau potable) pourrait être exposé à l'eau récupérée. La distance d'éloignement nécessaire dépend avant tout de la qualité de l'eau récupérée, de la méthode d'irrigation (aspersion, ruissellement sous la surface, goutte-à-goutte, barbotage, etc.), du rayon de la zone arrosée, des conditions climatiques et hydro-géologiques du site. Les distances d'éloignement doivent être fixées conformément aux réglementations applicables aux puits d'apport d'eau potable et au temps de déplacement de l'eau dans l'aquifère. Dans le cas d'irrigation par aspersion, une distance minimale aux zones habitées et aux routes et voies publiques devrait être fixée et les asperseurs ne devraient pas être utilisés dans les limites de ces distances.

3.7.9. Restrictions imposées aux cultures

Les restrictions imposées aux cultures visent à protéger les consommateurs. Elles ont trait aux cultures qu'il n'est pas permis d'irriguer avec l'eau de catégorie III, principalement les légumes, et aux racines et tubercules pour la catégorie IV. La limitation des cultures doit être complétée par une application contrôlée de l'effluent et de l'exposition humaine. Un cadre institutionnel solide et la capacité de surveiller et contrôler la conformité aux règlements et de les faire appliquer effectivement s'imposent également quand on adopte des restrictions aux cultures en vue de protéger la santé.

3.7.10. Gestion de l'irrigation et restrictions imposées à la durée d'application

Des méthodes d'application appropriées de l'eau récupérée, des limitations du débit d'eau appliquée, des délais pendant lesquels l'irrigation est interrompue avant la récolte et la pâture des animaux sont des pratiques qui diminuent la contamination des cultures et des sols.

La fixation de la durée d'application la plus appropriée vise à réduire au minimum le contact humain direct avec l'aspersion et les aérosols d'eau récupérée. Les parcs et jardins publics, terrains de golf, aménagements paysagers publics et privés recevant de l'eau récupérée doivent être irrigués pendant leurs heures fermeture, par exemple entre 21 heures et 6 heures, afin de réduire les possibilités de contact du public avec l'eau et de contribuer au programme de gestion des risques.

L'irrigation par aspersion/vaporisation ne devrait pas être utilisée pour les légumes et les fruits, à moins que l'effluent ne soit conforme aux valeurs guides. L'irrigation par ruissellement sous la surface, en particulier quand la surface du sol est couverte d'une feuille de revêtement plastique, peut conférer un degré élevé de protection sanitaire, outre qu'elle permet une utilisation plus efficace de l'eau. Un bon système de filtration pour ôter les matières en suspension de l'eau d'irrigation est nécessaire pour prévenir l'obturation des appareils d'aspersion/projection.

Des asperseurs à faible rayon d'action sont recommandés. L'irrigation par aspersion n'est pas recommandée quand il y a vente en raison de la possibilité de transmission des agents pathogènes par les aérosols, avec des risques sanitaires pour les travailleurs, les exploitants agricoles et les populations résidant à proximité. Il ne devrait pas être appliqué d'eau récupérée sur des sols saturés afin d'éviter la formation de ruissellement, de flaques et de mares.

Quand des arbres fruitiers sont irrigués avec de l'eau de catégorie III, aucun fruit ne devrait être ramassé à terre.

3.7.11. Serres

L'irrigation au moyen de systèmes de ruissellement en surface et sous la surface (à l'exception des micro-asperseurs) est vivement recommandée dans les serres. En cas d'utilisation de micro-asperseurs, l'irrigation doit avoir lieu en l'absence des travailleurs.

3.7.12. Contrôle de l'exposition humaine et hygiène

Les travailleurs agricoles devraient être au courant du risque associé à l'exposition à l'eau récupérée et manipuler celle-ci avec prudence. Les mesures préventives visant à protéger les travailleurs et exploitants agricoles travaillant aux champs comprennent le port de combinaisons de protection et de bottes spéciales, un niveau d'hygiène accru et une immunisation éventuelle (contre certaines maladies comme la typhoïde et l'hépatite A). Des contrôles sanitaires des travailleurs devraient être prévus sur une base régulière.

Des programmes éducatifs devraient être dispensés au public, aux écoliers et membres d'autres institutions concernant la nécessité de la conservation et de la réutilisation de l'eau, les activités de réutilisation, les campagnes d'éducation sanitaire et les pratiques écologiquement rationnelles de gestion des eaux usées.

3.7.13. Protection des sols et des eaux souterraines

Lorsqu'on pratique l'irrigation, même si l'on veille à respecter les prescriptions concernant la qualité et l'acheminement de l'eau, il faut aussi que les constituants chimiques de l'eau récupérée n'entraînent aucune dégradation de la qualité des sols ou des eaux souterraines. Il convient de prêter attention à la salinité et à la lixiviation des nitrates, aux produits chimiques ayant une action pharmaceutique, aux agents de dérèglement du système endocrinien, etc. Un calendrier de l'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, sur la capacité de rétention du sol et sur la qualité de l'eau récupérée préviendra la contamination des eaux souterraines. La sélection de cultures à besoins élevés en azote réduira la contamination des aquifères par les nitrates.

4. CONCLUSION

Établir des lignes directrices méditerranéennes pour la réutilisation des eaux usées municipales est une entreprise ardue du fait de l'absence de lignes directrices internationales circonstanciées et d'un consensus scientifique sur la démarche à adopter pour une pareille tâche. C'est ce qui explique les divergences relevées entre les lignes directrices qui sont déjà appliquées dans les pays méditerranéens. Cependant, un certain nombre d'avantages potentiels peuvent être obtenus en énonçant des prescriptions minimales qui devraient constituer la base des réglementations en matière de réutilisation des eaux usées dans chaque pays de la région, laquelle est menacée par une pénurie d'eau et connaît un développement croissant des échanges alimentaires et du tourisme.

Les présentes lignes directrices ont été élaborées en ayant largement recours aux résultats de l'évaluation que Blumenthal *et al.*, (2000) ont faite des directives de l'OMS. Leurs travaux ont reposé sur une évaluation des risques au moyen d'études épidémiologiques complétées par des investigations microbiologiques et une évaluation quantitative modélisée des risques. Certaines données d'évaluation modélisée ont été ajoutées en retenant comme références les risques annuels acceptables liés à la baignade et à l'ingestion d'eau potable.

Quatre catégories d'eau basées sur des niveaux de risque comparables ont été établies. Le rapport coût-efficacité de la réutilisation de l'eau a été également pris en compte, étant entendu qu'un réseau de distribution d'eau récupérée doit subvenir au plus grand nombre possible d'applications dans une même zone. Les utilisations suivantes de l'eau récupérée ont été envisagées: agriculture, irrigation paysagère, réutilisation à des fins urbaines et résidentielles, retenues d'eau à vocation paysagère et récréative - à l'exception de celles où la baignade est autorisée. Les traitements des eaux usées censés répondre aux critères ont été définis pour chaque catégorie d'eau. Dans le cas d'une réutilisation agricole, la capacité de réduction des risques sanitaires du système ou de la méthode d'application a été prise en compte.

5. RECOMMANDATIONS

Les pays méditerranéens présentent un niveau inégal de développement, plusieurs étant déjà bien équipés de stations d'épuration des eaux usées alors que d'autres en sont pratiquement dépourvus. Par conséquent, on ne peut attendre de tous les pays qu'ils puissent respecter en même temps les lignes directrices.

Un comité régional devrait être créé avec des experts, praticiens et responsables de la réglementation en matière de réutilisation des eaux ayant une réputation internationale afin de réévaluer et actualiser périodiquement les lignes directrices, et ce en vue d'assurer

que celles-ci sont étayées par les meilleures données scientifiques et méthodes d'évaluation des risques disponibles et de valider l'efficacité des pratiques de gestion de l'eau récupérée.

Les organisations internationales devraient redoubler d'efforts pour qu'une plus grande concordance s'instaure entre les différentes réglementations et lignes directrices relatives à la qualité de l'eau. Aux fins de la gestion intégrée de l'eau et pour gagner la compréhension et l'adhésion du public, les réglementations sur la réutilisation devraient faire partie d'un ensemble de réglementations uniformes sur l'eau s'appliquant à l'eau potable, aux eaux de baignade, à l'eau d'irrigation et aux rejets.

Il n'existe pas d'éléments scientifiquement étayés prouvant que les directives OMS n'ont pas permis de protéger suffisamment la santé publique. Mais, compte tenu des incertitudes entourant les impacts sur la santé publique et l'environnement que sont susceptibles d'avoir les diverses options d'élimination et de recyclage, il convient de poursuivre les recherches pour réduire les doutes qui subsistent quant à la possibilité d'effets néfastes sur la santé humaine d'une exposition à l'eau récupérée et pour accroître la confiance en la réutilisation. Pour convaincre le public et protéger la santé humaine, il faut mettre à jour la base scientifique des réglementations afin de garantir que les normes relatives aux produits chimiques et aux agents pathogènes sont étayées par les données scientifiques et méthodes d'évaluation des risques les plus récentes et de valider l'efficacité des pratiques de gestion de l'eau récupérée. Il importe de s'attaquer aux questions et incertitudes qui, au niveau scientifique et à celui de la gestion, hypothèquent les lignes directrices et normes existantes en matière de réutilisation de l'eau récupérée:

- Des études nationales et régionales sur les produits chimiques et agents pathogènes présents dans les eaux usées brutes et traitées ainsi que dans les boues d'égout, en recourant à des programmes d'échantillonnage, à des méthodes statistiques et analytiques pertinents, devraient être menées dans la région méditerranéenne. Les modifications à court et à long terme de la qualité de l'eau doivent être analysées en vue de dégager des tendances possibles.
- Des programmes de surveillance de la qualité de l'eau au site de réutilisation devraient être entrepris, conjointement au contrôle de la qualité des produits agricoles irrigués. Il convient de poursuivre les recherches sur les modifications de la qualité de l'eau récupérée dans les systèmes de stockage et réseaux de distribution.
- Un bilan approfondi de l'efficacité des techniques de désinfection, de leurs inconvénients et de leurs coûts devrait grandement aider les concepteurs de la réutilisation de l'eau.
- Il conviendrait de rechercher les techniques permettant de répondre de manière fiable au critère de < 0,1 œuf de nématode par litre à un coût acceptable.
- Les connaissances doivent être développées sur l'élimination des agents pathogènes dans les techniques extensives à faible coût.
- Il est vivement escompté que soient poursuivies les recherches sur les systèmes d'irrigation, comme le goutte-à-goutte et le ruissellement sous la surface, qui peuvent offrir à la fois une protection sanitaire et une conservation de l'eau optimales. Il existe une demande croissante pour l'introduction d'un indicateur viral qui puisse être utilisé dans les réglementations sur la réutilisation de l'eau. Cette demande devrait inciter à pousser l'investigation et la mise au point de méthodes de détection sensibles, fiables et efficaces au regard de leur coût.
- Des études épidémiologiques soigneusement conçues concernant l'exposition et les impacts sur la santé de populations exposées (personnel chargé d'épandre de l'eau récupérée, utilisateurs d'eau récupérée, exploitants agricoles, collectivités situées à proximité de sites d'application, etc.) contribueraient à mieux évaluer les risques liés à la réutilisation de l'eau dans la région méditerranéenne. Des études épidémiologiques sur la morbidité liée à la baignade dans les pays méditerranéens devraient également être réalisées.

- Davantage de recherches devraient être menées en vue d'accroître l'efficacité de l'évaluation quantitative des risques modélisée. Plusieurs questions sont notamment à explorer:
 - les relations dose-réponse;
 - la persistance environnementale d'agents pathogènes sur le sol et les cultures après épandage d'eau récupérée;
 - l'évaluation de l'exposition;
 - les relations entre indicateurs pathogènes et microbiens.
- Le concept de *risque acceptable* devrait être évalué en vue de réduire les divergences entre les différentes utilisations de l'eau; la signification de ce concept devrait être précisée.
- Dans le cas de l'utilisation comme eau potable, de nouvelles études s'imposent sur les substances organiques en traces, les agents de dérèglement du système endocrinien, les produits pharmaceutiques et les risques sanitaires associés. Des études devraient être entreprises sur l'évaluation des risques en s'attachant aux interactions entre agents pathogènes et constituants chimiques. Des interactions de la sorte peuvent se traduire par une inhibition ou un renforcement des effets néfastes des diverses expositions. Les informations existantes sur les interactions possibles entre produits chimiques et agents pathogènes qui pourraient être associées aux expositions à de l'eau récupérée devraient donner lieu à une synthèse.
- Les principes à la base de la fixation des distances d'éloignement des sites d'application (cf. § 3.7.8) devraient être établis.

Le présent rapport a pour objet de traiter des aspects santé publique de la réutilisation de l'eau. D'autres aspects importants de cette pratique, comme la production agricole, la conservation des sols et l'impact sur l'environnement doivent être pris en compte pour permettre aux ingénieurs, aux exploitants agricoles, aux municipalités et aux autorités compétentes de bien concevoir et planifier l'utilisation durable des eaux usées. La documentation fournie par la FAO devrait aider chaque pays dans son processus décisionnel.

6. RÉFÉRENCES

- Angelakis, A.N., and S.V. Spyridakis. (1996). The status of water resources in Minoan times - A preliminary study. In: *Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region* (A. Angelakis and A. Issar, Eds.). Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191.
- Angelakis, A.N., M.H. Marecos do Monte, L. Bontoux, and T. Asano. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin. *Water Res.* **33**(10): 2201-2217, 1999.
- Angelets, A.N. an L. Bon toux (2001). Wastewater Reclamation and Reuse in Eureau Countries. *Water Policy* 3: 47-59.
- Asano, T., Leong, L.Y.C., Rigby, M.G. and Sakaji, R.H. (1992). Evolution of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. *Wat. Sci. Tech.*, **26** (7-8), 1513-1524.
- Asano, T. (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse*. Water Quality Management Library Vol. 10. Technomic Publishing Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Asano, T., Ogoshi, M., and Suzuki, Y., (2000). Lessons Learned from the Japanese Water Reuse Experiences, Water Reuse 2000 Conference, San Antonio, Texas, January 30-February 2, 2000.
- Asano, T. and Cotruvo, J. (2002). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations – Projet de document, chapitre OMS, 25 mars 2002, 30 p.
- Ayers R. S. and Westcot D. W. (1985). *Water quality for agriculture*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Rome. Italie.
- Ayres, R.M. et al. (1992). Contamination of lettuces with nematode eggs by spray irrigation with treated and untreated wastewater. *Wat. Sci. Tech.* **26**(7-8), 1615-1623.
- Bastos, R.K.X. and Mara, D.D. (1995). The bacteriological quality of salad crops drip and furrow irrigated with waste stabilization pond effluent: an evaluation of the WHO guidelines. *Wat. Sci. Tech.* **31**(12), 425-430.
- Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. and Scott, R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the WHO* **78** (9), 1104-1116.
- Bouwer, H. (1996) Issues in artificial recharge. *Water Science and Technology*, **33**(10-11), 381-390.
- Brissaud, F., M. Salgot, A. Bancolé, C. Campos & M. Folch, (1999). Residence time distribution and disinfection of secondary effluents by infiltration percolation. *Wat. Sci. Tech.* **40**(4/5) :215-222.
- Chang A. C., Page A. L. and Asano T. (1995). *Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed water and sewage sludge applications in agriculture*, World Health Organization, Geneva, Switzerland.***

- Chang, C., Page, A.L. and Asano, T. (1998). Evaluating methods of establishing human health-related chemical guidelines or cropland application of municipal wastewater. In Asano T. ed. *Wastewater Reclamation and Reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing, 581-626.
- COM (2000). Developing a new bathing water policy. [http:// www.europa.eu.int/ comm/ environment/docum/00860_en.htm](http://www.europa.eu.int/comm/environment/docum/00860_en.htm)
- Conseil supérieur d'hygiène publique de France. 1991. Recommandations sanitaires concernant l'utilisation, après épuration, des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts, DGS/SD1.D./91/N° 51, Paris, Ministère de la Santé, 40 p.
- Cooper, R.C. and Olivieri, A.W. (1998). Infection disease concerns in wastewater reuse. In Asano T. ed. *Wastewater Reclamation and Reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing, 489-520.
- Crites, R. and G. Tchobanoglous (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems, WCB and McGraw-Hill, New York, USA.
- Crook, J. and Surampalli, R.Y. (1996). Water reclamation and reuse criteria in the USA. *Wat. Sci. Tech.*, **33**(10-11): 475-486.
- Crook, J. (1998). Water reclamation and reuse criteria. In Asano T. ed. *Wastewater Reclamation and Reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing, 627-703.
- Crook, J., Johnson, L.J. and Thompson, K. (2001). California's new water recycling criteria and their effect on operating agencies.
- Drewes, J.E. and Jekel, M. (1996). Simulation of groundwater recharge with advanced treated wastewater. *Water Science and Technology*, 33(10-11), 409-418.
- Durand, R.E. *et al.*, (1986). Epidemiological investigation of community health effects of landscape irrigation with reclaimed water: the Colorado Springs study. Colorado Springs, Wastewater Division of the City of Colorado Springs.
- État de Californie. (1978). Wastewater Reclamation Criteria, An Excerpt from the California Code of Regulations, Title 22, Division 4, Environmental Health, Dept. of Health Services, Sacramento, Californie.
- État de Californie (2000). Title 22, Code of regulations, 24 p. Novembre 2000.
- Feachem, R.G., Bradley, D.H., Garelick, H. and Mara, D.D. (1983). Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. John Wiley and Sons, New York.
- Haas, C.N. (1996). Acceptable health risk. Viewpoint. *J. Am. Water Works Assoc.*, **18**, 8.
- Jiménez B., Chávez A., and Hernández C. (1999). Alternative wastewater treatment intended for agricultural use in Mexico. *Wat. Sci. Tech.*, 40, No. 4-5, pp. 355-362.
- Jiménez B., Chávez A., Maya, C. and Jardines, L., (2001). Removal of microorganisms in different stages of wastewater treatment for Mexico City. *Wat. Sci. Tech.*, 43, No. 10, pp. 155-162.

- Kay, D., Fleisher, J.M., Salmon, R.L., Jones, F., Wyer, M.D., Godfree, A.F., Zelenkauch-Jacquotte, Z. and Shore, R. (1994). Predicting likelihood of gastroenteritis from sea bathing: results from randomised exposure. *Lancet* **344**, 905-909.
- López-Pila, J. and Szewzyk, R. (2000). Estimating the infection risk in recreational waters from the faecal indicator concentration and from the ratio between pathogens and indicators. *Wat. Res.* **34** (17), 4195-4200.
- Mara, D. and Cairncross, S. (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture, Measures for public health protection, OMS, Genève, Suisse.
- Margat, J. et D. Vallée (2000). Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement au XXI^{ème} siècle. Plan B, Plan d'action pour la Méditerranée/PNUE, GWP/MEDTAC, Montpellier, France.
- Mariño, F.J., Moriño, M.A., Martinez-Manzanares, E. and Borrego, J.J. (1995). Microbiological-epidemiological study of selected marine beaches in Malaga (Spain). *Wat. Sci. Tech.* **31**(5-6), 5-9.
- Medema, G.J., Van Asperen, I.A., Klokman-Houweling, J.M., Nooitgedagt, A., Van de Laar M.J.W. and Havelaar, A.H. (1995). The relationship between health effects in triathletes and microbiological quality of freshwater. *Wat. Sci. Tech.* **31**(5-6), 19-26.
- Mugglestone, M.A., Stutt, E.D. and Rushton, L. (2001). Setting microbiological water quality standards for sea bathing – a critical evaluation. *Wat. Sci. Tech.* **43**(12), 9-18.
- Ongerth, H. and Jopling, W.F. (1977). Water reuse in California. In "Water Renovation and Reuse" ed. By Shuval H.I., Academic Press, New York, 219-256.
- Ogoshi, M., Suzuki, Y. and Asano, T. (2001). Water reuse in Japan. *Wat. Sci. Tech.* **43**(10), 17-23.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) (1973). *Reuse of effluents: Methods of wastewater treatment and health safeguards*, Tech. Bull. Ser. 51, OMS, Genève, Suisse.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) (1989). Directives sanitaires pour l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture et l'aquaculture, Tech. Bull. Ser. 77, OMS, Genève,, Suisse.
- Pettygrove, G.S., and Asano, T., (ed.). (1985). Irrigation with reclaimed municipal wastewater - A guidance manual. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mississippi.
- Pescod, M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 125 p.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (1991). Lignes directrices environnementales pour la réutilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne. Plan d'action pour la Méditerranée, Programme d'actions prioritaires, Programme des Nations Unies pour l'environnement, en coopération avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture , PAP-3/G.1.

- Sack, J., Ickson-Tal, N., and H. Cikurel (2001). Soil aquifer treatment: evaluation of water quality and treatment reliability in Dan Region – Israel. In EU project ENV4-CT98-0790 CATCHWATER final report, 390-426.
- Schwarzbrod, J. (2002). Communication personnelle.
- Shuval, H., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E. and Yekutieli P. (1986). Wastewater irrigation in developing countries: Health effects and technical solutions. World Bank Technical paper 51, The World Bank, Washington, D.C.
- Shuval, H., Lampert, Y. and Fattal, B. (1997). Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Wat. Sci. Tech.* **35**(11-12), 15-20.
- Soulié, M. and Tréméa, L., (1992). Technologie pour le traitement et la réutilisation des eaux usées dans le bassin méditerranéen, Actes des 3èmes Rencontres de l'Agence régionale pour l'environnement, Provence - Alpes - Côte d'Azur, 24-27 Septembre 1991, 171-255.
- Strauss, M. and Blumenthal, U.J. (1989). Health Aspects of Human Waste Use in Agriculture and Aquaculture –utilisation Practices and Health Perspectives. International Reference Center for Waste Disposal, Dubendorf (Report N° 08/88).
- Tanaka, H., Asano, T., Schroeder, E. D. and Tchobanoglous, G. (1998). Estimating the safety of wastewater reclamation and reuse using enteric virus monitoring data. *Wat. Environ. Res.* **70** (1), 39-50.
- Union européenne (1976). Directive sur la qualité des eaux de baignade 76/160/CEE. <http://www.europa.eu.int/water/water-bathing/directive.html>
- Union européenne (1991). Directive du Conseil concernant le traitement des eaux résiduaires urbaines, 91/271 CEE du 23 mai 1991, JO des CE no L135/40 du 30 mai 0, 1991.
- US EPA (Environmental Protection Agency) (1976). *Quality Criteria for Water*. EPA-R3-73-033. A report of the National Academy of Science – National Academy of Engineering Committee on Water Quality Criteria. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- US EPA (Environmental Protection Agency) (1992). Guidelines for Water Reuse. EPA/625/r-92/004, U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. 247 pp.
- US EPA (Environmental Protection Agency) (1998). *Bacterial Water Quality Standards for Recreational Waters (Freshwater and Marine Waters)*. 4305 EPA-823-R-98-003. Office for Water. US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/waterscience/beaches/local/sum2.html>
- Vaz da Costa-Vargas, S.M., Mara, D.D. and Vargas-Lopez, C.E. (1991). Residual faecal contamination on effluent-irrigated lettuces. *Wat. Sci. Tech.* **24**(9), 89-94.
- Xu, P. and Brissaud, F. (2002). Evaluating water reuse guidelines : technical-economic impact and risk assessment (*submitted to Water Research*).

7. ANNEXES

- Tableau 1. Critères provisoires de qualité pour l'irrigation avec de l'eau récupérée à Chypre.
- Tableau 2. Recommandations sur la réutilisation des eaux usées en France.
- Tableau 3. Critères pour l'utilisation des effluents d'eaux résiduelles aux fins d'irrigation en Israël.
- Tableau 4. Normes microbiologiques pour l'irrigation avec de l'eau récupérée en Italie.
- Tableau 5. Projet de lignes directrices et critères microbiologiques pour l'irrigation dans la réglementation nationale espagnole proposée en 1995.
- Tableau 6. Projet de normes de qualité des eaux usées proposé par le CEDEX en 1999 (Espagne)
- Tableau 7. Lignes directrices sur la qualité pour la réutilisation des eaux en Andalousie.
- Tableau 8. Résumé des réglementations sur la réutilisation des eaux usées pour la recharge des eaux souterraines aux îles Baléares.
- Tableau 9. Normes tunisiennes pour les eaux récupérées réutilisées dans l'agriculture.
- Tableau 10. Normes jordaniennes 893/1995 pour les eaux usées domestiques traitées.
- Tableau 11. Normes pour les eaux récupérées au Koweït.
- Tableau 12. Lignes directrices de l'US EPA pour la réutilisation des eaux récupérées dans l'agriculture.
- Tableau 13. Lignes directrices sur les eaux récupérées en Afrique du Sud.
- Tableau 14. Directives OMS microbiologiques révisées pour l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture.
- Tableau 15. Critères japonais de qualité des eaux récupérées pour la chasse d'eau des toilettes, l'irrigation paysagère et les eaux environnementales.
- Tableau 16. Critères de l'État de Californie proposés pour les projets de recharge des eaux souterraines et de réutilisation.

Définitions de l'irrigation par aspersion et des systèmes de filtration (d'après ICID, 1977).

Tableau 1

Critères provisoires de qualité pour l'irrigation avec de l'eau récupérée à Chypre (1989)

Irrigation de	DBO ₅ (mg/l)		MES (mg/l)	Coliformes fécaux (NPP/100 ml)	Nématodes intestinaux (Nbre/l)	Traitement requis
Toutes les cultures (*)	A	10 ^(a)	10 ^(a)	5 ^(a) 15 ^(b)	Aucun	Secondaire, tertiaire + désinfection
Légumes à consommer cuits (**) Espaces de loisirs de libre accès au public	A	10 ^(a) 15 ^(b)	10 ^(a) 15 ^(b)	50 ^(a) 100 ^(b)	Aucun	Secondaire, tertiaire + désinfection
Cultures destinées la consommation humaine Espaces de loisirs d'accès limité pour le public	A	20 ^(a) 30 ^(b)	30 ^(a) 45 ^(b)	200 ^(a) 1 000 ^(b)	Aucun	Secondaire, stockage >1 semaine + désinfection, ou tertiaire + désinfection Bassins de stabilisation- maturation délai total de séjour >30 jours, ou secondaire +stockage >30 jours
	B	-	-	200 ^(a) 1 000 ^(b)	Aucun	
Cultures fourragères	A	20 ^(a) 30 ^(b)	30 ^(a) 45 ^(b)	1 000 ^(a) 5 000 ^(b)	Aucun	Secondaire +stockage >1 semaine, ou tertiaire + désinfection Bassins de stabilisation- maturation délai total de rétention >30 jours ou secondaire + stockage >30 jours
	B	-	-	1 000 ^(a)	Aucun	
Cultures industrielles	A	50 ^(a) 70 ^(b)	- -	3 000 ^(a) 10 000 ^(b)	- -	Secondaire + désinfection Bassins de stabilisation- maturation avec un délai total de séjour >30 jours ou secondaire + stockage >30 jours
	B	-	-	3 000 ^(a) 10 000 ^(b)	- -	

A: méthodes de traitement mécanisées.

B: Bassins de stabilisation.

^(A) Ces valeurs ne doivent pas être dépassées dans 80% des échantillons par mois, nombre minimal de 5 échantillons.

^(b) Valeur maximale autorisée.

(*) L'irrigation des légumes à feuilles, bulbes et céréales à consommer crus n'est pas autorisée.

(**) Pomme de terre, betterave, colocase.

Note: L'irrigation de légumes n'est pas autorisée.

L'irrigation de plantes ornementales à des fins commerciales n'est pas autorisée.

Aucune substance s'accumulant dans les parties comestibles des plantes cultivées et qui est notoirement toxique pour l'homme ou l'animal n'est autorisée dans les effluents.

Tableau 2

Recommandations sur la réutilisation des eaux usées en France (1991)

QUALITÉ DE L'EAU	CRITÈRES	TYPE D'IRRIGATION	TYPE DE VÉGÉTATION	TRAITEMENT
A	Aucun	Irrigation par ruissellement à la surface ou sous la surface du sol	Céréales, cultures industrielles, fourrage, arbres fruitiers forêts et espaces verts à accès limité	
B	≤ 1 œuf d'helminthe/l (ténia, ascaris)	Irrigation de surface ou en rigoles Irrigation par aspersion si propagation par aérosols limitée: distances d'éloignement des zones résidentielles > 100 m, haies, etc.	Arbres fruitiers, céréales et fourrage, pépinières et cultures vivrières à consommer cuites, terrains de sport si irrigation cesse plusieurs semaines avant accès	Bassins de stabilisation > 10 jours de délai de séjour ou équivalent
C	≤ 1 œuf d'helminthe /l (ténia, ascaris) $\leq 10^3$ CF/100 ml	Méthodes d'irrigation avec contact limité avec les cultures: asperseurs à faible pression, irrigation de surface, rigoles Distances d'éloignement des zones résidentielles > 100 m	Arbres fruitiers, pâturages, cultures vivrières à consommer crues, etc. terrains de sport, terrains de golf, espaces verts à libre accès	Bassins de stabilisation >30 jours de délai de séjour ou équivalent

Noter que le nouveau projet français de réglementation (novembre 2000) se fonde sur les critères suivants:

a) Traitement secondaire (directive UE, 1991):

MES < 35 mg/l et DCO totale < 125 mg/l, pour les effluents de lagunes: MES < 150 mg/l, DCO dissous < 125 mg/l, *Escherichia colis* < 1 000/100 ml, et aucun œuf de *Salmonelle* et de ténia.

b) Distances d'éloignement (des routes, habitations, etc.) ≥ 50 m.

c) Irrigation par aspersion en dehors des heures de travail. Des asperseurs à faible portée sont recommandés.

d) L'irrigation sous la surface du sol n'a pas été prise en compte.

Ministère israélien de la Santé – Principes pour la délivrance de permis d'irrigation avec des eaux usées traitées – R. Halperin (août 1999)

Tableau 3a

Nombre et type de barrières pour divers types de culture et qualités d'effluent

irrigation ns strictions	ffluent de ialité. evée	ffluent issins oxydation ***	ffluent ialité oyenr	Culture	lirrigation sur ble ou tentation olongée ou fluent à 0%.	ésinfection l'effluent	Distance irrigation oute-à- oute. **	évènement astiqu sol.	irrigation us la urface du il	apsule i écorce on mestib	ur oduits à nsomme is lement
Nombre de barrières requises					Un des trois méthodes	Oblig. Facult.					
0	2	***	***	Légumes consommés crus poussant au dessus du sol (poivrons, tomates, concombres, paprika, et courgettes).	+	+		+	++		
0	2	***	***	Légumes à cuire ayant une peau ou écorce (aubergine, potiron).	+	+		+	++	+	+
0	2	***	***	Légumes à cuire poussant dans le sol (pommes de terre).	+	+					+
0	2	***	***	Cacahuètes (arachide).	+	+				+	
0	2	***	***	Légumes à consommer frais poussant dans le sol (carottes, oignons, radis).	+	+					
0	2	***	***	Haricots, fèves	+	+		+	++		+
0	2	***	***	Légumes à écorce ou cosse (pastèque petits pois).	+	+		+	++	+	
0	2	3-2	3	Artichauts.	+	+	++	+	++		+
0	2	3-2	3	Maïs (comestible).	+	+	++	+	++	+	
0	2	3-2	3	Agrumes.	+	+	++		++	+	
0	2	3-2	3	Agrumes irrigués au jjet en saccades ou par aspersion des feuilles.	+	+	+			+	
0	2	3-2	3	Agrumes à écorce comestible (kumquats)	+	+	++		++		
0	2	3-2	3	Noix, amandes, grenades, pistaches).	+	+	++		++	+	
0	2	3-2	3	Arbres à feuilles caduques (pommes, pruneaux, prunes, pêches, abricots) et cerises.	+	+	++		++		
0	2	3-2	3	Fruits tropicaux (mangues, avocats, kakis).	+	+	+	+	++	+	
0	2	3-2	3	Fruits tropicaux aux feuilles inférieures coupées.	+	+	++	+	++	+	
0	2	3-2	3	Vigne à haute treille.	+	+	++		++		
0	2	3-2	3	Vigne à treille régulière.	+	+	+	+	++		
0	2	***	***	Vigne sans treille.	+	+		+	++		
0	2	3-2	3	Fruits à épines (cactées).	+	+	++	+	++	+	
0	2	3-2	3	Dattes.	+	+	+++	+	++		
0	2	3-2	3	Olives.	+	+	++	+	++		+
0	2	3-2	3	Fleurs.	+	+	+	+	++	+	
0				Jardinage public.							

Le nombre total de barrières nécessaires est fonction de la qualité de base de l'effluent servant à l'irrigation, selon les modalités suivantes:

1. Les effluents de qualité très élevée (se prêtant à une irrigation sans restrictions) ne nécessitent aucune barrière.
Qualité des effluents soumis à une opération de traitement mécanique-biologique, avec une DBO₅ /Matières en suspension (MES) à 20/30 ("qualité de base"), ou d'une qualité égale, puis passés ensuite sur un filtre à gravier profond (ou filtre de même valeur) et soumis ensuite à un procédé de désinfection pendant au moins une demi-heure en sorte qu'au terme de l'opération l'effluent ait une teneur résiduelle en chlore de 1 mg/l.
Ces effluents ne doivent pas contenir plus de 0 E.coli/100 ml.
2. Les effluents de qualité élevée nécessitent 2 barrières pour être approuvés aux fins d'irrigation agricole.
Ces effluents comprennent: les effluents issus d'une opération de traitement mécanique-biologique ou de traitement de valeur égale (si autorisé) permettant d'obtenir une "qualité de base" (DBO₅/MES à 20/30).
(Observation: une opération de traitement de valeur égale est par exemple un traitement dans la ville d'Arad, qui se caractérise par une forte production algale. Dans ce cas, il convient de noter qu'il faudrait soustraire des valeurs de MES et de DBO₅ la charge de MES et de DBO₅ causée par la concentration des algues.)
3. Les effluents de qualité moyenne nécessitent 3 barrières et ne se prêtent pas à l'irrigation de légumes.
Effluents issus des opérations de traitement qui ne sont pas intensives (comme les bassins aérés) de même que les effluents issus d'un traitement mécanique-biologique, avec une charge trop forte, qui produisent des effluents plus médiocres que la qualité de base (20/30), à condition qu'ils ne contiennent pas plus de 60 mg/l de DBO₅ et de 90 mg/l de MES
4. Effluents des bassins d'oxydation
 - ♦ Pour les effluents provenant d'une petite opération de traitement - un bassin d'oxydation qui reçoit seulement des eaux usées sanitaires, avec 15 jours de délai de séjour, qui ne peuvent être réduits au minimum, il serait possible d'approuver l'irrigation de fruits, ou cultures de même sensibilité (ou plus faible), avec deux barrières.
 - ♦ Dans les bassins d'oxydation qui reçoivent des eaux usées sanitaires, avec un délai de séjour d'au moins 10 jours, 3 barrières sont requises pour irriguer les fruits.
 - ♦ Dans les bassins qui reçoivent des eaux usées avec une DBO₅ supérieure à 400 mg/l, un jour supplémentaire de séjour est nécessaire pour chaque 50 mg/l de DBO₅ en excédent de la valeur primaire de 400 mg/l de DBO₅.

Tableau 3b
Qualités d'effluent

Traitement \ Type d'effluent	Irrigation sans restrictions	Qualité élevée	Bassins d'oxydation	Qualité moyenne
Opérations de traitement mécanique-biologique avec un effluent de qualité DBO ₅ /MES à 20/30.	Obligatoire	+		
Filtration sur sable.	L'une des trois méthodes			
Séjour prolongé.				
Bassin avec un effluent à 10%.				
Désinfection avec une demi-heure de délai de contact et 1 mg/l de chlore résiduel libre après l'opération.	Obligatoire			
Bassins d'oxydation avec un délai de séjour d'au moins 15 jours.		+		
Effluents de traitement secondaire				+

jusqu'à 60 mg/l de DBO ₅ et 90mg/l de MES.				
Bassins d'oxydation avec un délai de séjour d'au moins 10 jours.			+	

Tableau 4

Normes microbiologiques pour l'irrigation avec de l'eau récupérée en Italie (1977)

Région	Critères de qualité de l'eau	
	Qualité microbiologique	Physiques-chimiques
Normes nationales: - Irrigation sans restrictions^(b) - Irrigation^(c) soumise à restrictions	2 CT/100 ml ^(a) 20 CT/100 ml ^(a)	SAR _≤ 15
Emilie-Romagne: - Irrigation sans restrictions - Irrigation avec restrictions	2 CT/100 ml ^(a) 20 CT/100 ml ^(a)	-
Emilie-Romagne: - Irrigation sans restrictions - Irrigation avec restrictions	2 CT/100 ml ^(a) 20 CT/100 ml ^(a)	15 mg/l DBO ₅ ; 40 mg/l DCO; 10 mg/l MES; 0,2 mg/l Cl ₂ résiduel; pH: 6,5-8,5
Sicile: Irrigation sans restrictions	3000 CT/100 ml ^(a) 1000 CF/100 ml 1 œuf d'helminthe/l Salmonelles non détectables	40 mg/l DBO ₅ ; 160 mg/l DCO; 30 mg/l MES; pH: 6,5-8,5
L'irrigation est interdite pour les cultures qui viendraient en contact direct avec l'eau récupérée		

^(a) valeur moyenne sur 7 jours consécutifs d'échantillonnage.

^(b) Irrigation sans restrictions: cultures pouvant être consommées crues.

^(c) Irrigation avec restrictions: pâturages.

Tableau 5

Projet de lignes directrices et critères microbiologiques pour l'irrigation en Espagne (1995)

Application de la réutilisation	Nématodes intestinaux	CT ou CF	Prescriptions concernant le traitement des eaux usées, traitement et désinfection
Cultures pouvant être consommées crues	<1/l	<10/100 ml	Traitement secondaire, filtration ou traitement équivalent plus désinfection
Arbres fruitiers, et cultures à consommer cuites	<1/l	<200/100 ml	Traitement secondaire plus désinfection
Cultures industrielles; céréales, cultures fourragères et pâturages	<1/L	<500/100 mL	Traitement secondaire et désinfection
Pelouses, espaces boisés et autres espaces avec accès limité du public	<1/l	<200/100 mL	Traitement secondaire plus désinfection
Parcs, jardins publics, pelouses, terrains de golf et autres espaces avec exposition directe du public	<1/L	<10/100 mL	Traitement secondaire plus filtration, ou traitement équivalent plus désinfection

(a) Dans le cas d'irrigation par aspersion, des distances minimales d'éloignement des zones habitées et des routes et voies publiques doivent être fixées.

Tableau 6

Projet de normes de qualité des eaux usées proposé par le CEDEX en 1999 (Espagne)

Utilisation des eaux usées récupérées		Critères de qualité				
		Biologiques		Physiques-chimiques		Autres critères
		Oufs de nématodes intestinaux	<i>Escherichia coli</i>	Matières en suspension	Turbidité	
1	Utilisations à des fins résidentielles: Irrigation de jardins privés, chasse d'eau des toilettes, systèmes de climatisation domestiques, lavage des voitures	< 1 œuf/10 l	0 ufc/100 ml	< 10 mg/l	< 2 NTU	
2	Utilisations et aménagements urbains: Irrigation des espaces paysagers à libre accès (parcs, terrains de golf, terrains de sport, etc). Nettoyage des rues, lutte anti-incendie, retenues d'eau ornementales et fontaines décoratives.	< 1 œuf/l	< 200 ufc/100 mL	< 20 mg/l	< 5 NTU	
3	Irrigation de cultures sous serre	< 1 œuf/l	< 200 ufc/100 ml	< 20 mg/l	< 5 NTU	<i>Legionella pneumophila</i> 0 ufc/100 ml
4	Irrigation de cultures vivrières à consommer crues. Arbres fruitiers irrigués par asperseurs.	< 1 œuf/l	< 200 ufc/100 ml	< 20 mg/l	< 5 NTU	
5	Irrigation de pâturages pour animaux de boucherie ou à traire.	< 1 œuf/l	< 1 000 ufc/100 ml	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	<i>Taenia saginata et tenia solium</i> < 1 œuf/l

6	Irrigation de cultures destinées à l'industrie de la conserve et irrigation de cultures à ne pas consommer crues. Irrigation d'arbres fruitiers, sauf par aspersion	< 1 œuf/l	< 1 000 cfu/100 mL	< 35 mg/L	Aucune limite instaurée	
7	Irrigation de cultures industrielles, pépinières, fourrage, céréales et graines oléagineuses	< 1 œuf/l	< 10 000 ufc/100 ml	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	
8	Irrigation d'espaces boisés, de sites paysagers et de zones forestières à accès réglementé. Sylviculture	<1 œuf/l	Aucune limite instaurée	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	
9	Circuits de refroidissement industriels, sauf pour l'industrie agroalimentaire	Aucune limite instaurée	<10 000 ufc/100 ml	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée.	<i>Legionella pneumophila</i> 0 ufc/100 ml
10	Retenues d'eau, plans d'eau et cours d'eau à usage récréatif où le contact du public avec l'eau est autorisé (à l'exception de la baignade)	< 1 œuf/l	< 200 ufc/100 ml	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	
11	Retenues d'eau, plans d'eau et cours d'eau à usage récréatif où le contact du public avec l'eau n'est pas autorisé	Aucune limite instaurée	Aucune limite instaurée	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	
12	Aquaculture (biomasse animale ou végétale)	< 1 œuf/l	< 1 000 uf/100 ml	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	
13	Recharge de l'aquifère par percolation localisée à travers le sol	< 1 œuf/l	<1.000 ufc/100 ml	< 35 mg/l	Aucune limite instaurée	Azote total < 50 mg/L
14	Recharge de l'aquifère par injection directe	< 1 œuf /10 l	0 ufc/100 ml	< 10 mg/l	< 2 NTU	Azote total < 15 mg/l

Notes:

- ufc : unité formant une colonie.
- Les genres suivants sont considérés comme faisant partie de la catégorie des nématodes intestinaux: *Ankylostoma*, *Trichuris*, *Ascaris*, *Strongyloides*, *Trichostrongylus*, *Toxocara*, *Enterobius* et *Capillaria*.
- L'utilisation d'eaux usées récupérées est autorisée pour les usages domestiques à l'exception de la consommation humaine pour laquelle elle est strictement interdite dans les Réglementations du domaine public de l'hydraulique (Décret royal 849/1986, en date du 11 avril), sauf en cas de catastrophe ou de situation critique. Compte tenu des risques en jeu, les autorités devraient porter une attention toute particulière à ce type de concession, en plus d'assurer un contrôle strict des conditions requises pour la réutilisation.
- L'utilisation d'eaux usées récupérées pour le refroidissement industriel dans l'industrie agroalimentaire et des secteurs apparentés est formellement interdite.
- Pour les utilisations 10 et 11 du tableau ci-dessus, outre la conformité aux paramètres indiqués, les eaux usées récupérées doivent être exemptes d'odeurs.
- L'utilisation des eaux usées récupérées pour l'élevage de coquillages filtreurs est strictement interdite.
- L'opération de recharge des aquifères par percolation localisée à travers le sol doit être obligatoirement réalisée à une profondeur de sol uniforme avec une couche minimale de 1,5 mètre.
- Les critères de qualité indiqués pour chacune des utilisations approuvées sur le tableau 6 devraient être considérés comme des conditions minimales d'utilisation, et ils peuvent être revus dans un sens encore plus strict par les autorités compétentes si celles-ci le jugent nécessaire.

Les utilisations approuvées sur le tableau 6 ci-dessus ne seront pas les seules possibles ni permises pour les eaux usées récupérées. Cependant, jusqu'à ce qu'elle soit inscrite sur cette liste, toute nouvelle utilisation non envisagée dans les réglementations de base devrait faire l'objet d'une réglementation spéciale par l'autorité compétente.

Tableau 7

Directives concernant la qualité pour la réutilisation des eaux en Andalousie

Type d'application	Coliformes fécaux /100ml	Œuf de nématode/l
Irrigation des terrains de sports et des parcs à libre accès pour le public	<200	<1
Légumes à consommer crus	<1000	<1
Production de biomasse destinée à la consommation humaine et circuits ouverts de refroidissements	<1000	Aucun
Lacs/étangs à usage récréatif	<2000	<1
Circuits semi-fermés de refroidissement	<10 000	Aucun
Cultures industrielles, céréales, semis de fourrage sec, forêts et légumes destinées à la conserve ou à consommer cuits	Aucun	<1
Irrigation d'espaces verts auxquels le public n'a pas accès, production de biomasse non destinée à la consommation humaine et lacs/étangs dont l'accès est interdit	Aucun	Aucun

Tableau 8

Résumé des réglementations sur la réutilisation de l'eau pour la recharge des eaux souterraines aux îles Baléares

(Source : Sintesis Del Plan Integrado Para La Reutilizacion de Aguas Tratadas En Las Islas Baleares, 1994-1997)

Prescriptions concernant les eaux injectées	Prescriptions concernant l'eau de l'aquifère
Recharge des aquifères d'eau non potable par épandage, infiltration-percolation ou puits d'injection – protection contre l'intrusion d'eau de mer	
pH = 6-9; DBO ₅ < 40 mg/l; DCO < 120 mg/l; MES < 60 mg/l; <i>E. coli</i> < 10 000/100 ml	Pas d'objectif de qualité, à l'exception de limitations de N et de P
Réutilisation indirecte comme eau potable - Recharge des eaux souterraines par épandage/percolation	
pH = 6-9, DBO ₅ < 40 mg/l, DCO < 120 mg/l, MES < 60 mg/l <i>E. coli</i> < 10 000/100 ml	L'eau devrait satisfaire aux normes d'eau potable après infiltration Surveillance quotidienne du pH et des coliformes D'autres paramètres d'eau potable sont surveillés tous les trois mois Les entérovirus ou les bactériophages sont contrôlés chaque mois (0/10 l) Contrôle d'autres composés organiques et inorganiques, ou de classes de composés, qui sont connus ou suspectés pour leur pouvoir toxique, cancérigène, tératogène ou mutagène et qui ne sont pas inclus dans les normes d'eau potable. Délai minimal d'attente avant utilisation: 1 an.
Réutilisation indirecte comme eau potable - Recharge des eaux souterraines par puits d'injection	
Qualité d'eau potable requise au point d'injection Surveillance quotidienne: pH = 6,5-8,5; <i>E. coli</i> aucun/100 ml Contrôle continu: Cl ₂ résiduel = 0,5 mg/l (30 mn de contact), NTU < 2 Surveillance mensuelle: aucun entérovirus ou bactériophage détectable dans 10 l. Toutes les normes d'eau potable surveillées tous les 3 mois Contrôle d'autres composés organiques et inorganiques, ou de classes de composés, qui sont connus ou suspectés pour leur pouvoir toxique, cancérigène, tératogène ou mutagène et qui ne sont pas inclus dans les normes d'eau potable.	Délai minimal d'attente avant utilisation: 1 an. :

Tableau 9

Normes tunisiennes pour les eaux récupérées réutilisées dans l'agriculture (1989)

Paramètres ^{a)}	Concentration maximale autorisée
pH	6,5 - 8,5
Conductivité électrique (CE) ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	7000
Demande chimique d'oxygène (DCO)	90 ^{b),c)}
Demande biochimique d'oxygène (DBO ₅)	30 ^{b),c)}
Matières en suspension (MES)	30 ^{c)}
Chlorures (Cl)	2000
Fluorures (F)	3
Hydrocarbures halogénés	0,001
Arsenic (As)	0,1
Bore (B)	3
Cadmium (Cd)	0,01
Cobalt (Co)	0,1
Chrome (Cr)	0,1
Cuivre (Cu)	0,5
Fer (Fe)	5
Manganèse (Mn)	0,5
Mercure (Hg)	0,001
Nickel (Ni)	0,2
Plomb (Pb)	1
Sélénium (Se)	0,05
Zinc (Zn)	5
Nématodes intestinaux (moyenne arithmétique d'œufs par litre)	< 1

a): toutes les unités en mg/l, sauf spécification contraire;

b): échantillon composite sur 24 h;

c): sauf autorisation spéciale pour des bassins de stabilisation.

Surveillance des paramètres physico-chimiques une fois par mois, des éléments traces tous les six mois et des œufs d'helminthe toutes deux semaines.

Les effluents soumis à un traitement secondaire sont permis pour tous les types de culture, à l'exception des légumes, qu'ils soient consommés crus ou cuits.

Des restrictions sont imposées sur le site en ce qui concerne la récolte, la pâture du bétail, les méthodes d'application de l'eau récupérée, etc.

Tableau 10

Normes jordaniennes 893/1995 relatives aux eaux usées domestiques traitées (mg/l)

Paramètre	Irrigation de légumes à consommer crus	Irrigation d'arbres fruitiers et forêts	Irrigation de cultures fourragères	Irrigation de pelouses et parcs	Cours d'eau, oueds-wadis et retenues	Recharge des nappes aquifères	Bassins piscicoles ⁽²⁾
PH	6,9-9,0	6,9-9,0	6,9-9,0	6,9-9,0	6,9-9,0	6,9-9,0	6,9-9,0
DBO ₅ ⁽¹⁾	150	150	250	50	50	50	-
DCO	500	500	700	200	200	200	-
OD	Supérieur à 2	Supérieur à 2	Supérieur à 1	Supérieur à 2	Supérieur à 2	Supérieur à 2	Supérieur à 2
MES	200	200	250	50	50	50	25
TMES	2000	2000	2000	2000	2000	1500	2000
Couleur (pcu)	-	-	-	75	75	75	-
Phénol	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
Substances réagissant au bleu de méthylène (MBAS)	50	50	50	15	25	15	0,2
Cl ₂ résiduel	0,05	-	-	0,5	-	-	-
N total	100	100	-	100	50	50	-
NO ₃ -N	50	50	50	25	25	25	-
NH ₄ -N	-	-	-	50	15	15	0,5
T-N	100	100	-	100	50	50	-
PO ₄ -P	-	-	-	15	15	15	-
Cl ⁻	350	350	350	350	350	350	350
SO ₄ ⁻	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-
CO ₃ ⁼	6	6	6	6	6	6	-
HCO ₃ ⁻	520	520	520	520	520	520	-
Na ⁺	230	230	230	230	230	230	-
Mg ⁺⁺	60	60	60	60	60	60	-
Ca ⁺⁺	400	400	400	400	400	400	-
Taux d'absorption du sodium	9	9	9	12	9	9	-
Al	5	5	5	5	5	1	-
As	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
Be	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,04
P	5,0	5,0	5,0	5,0	2,0	1,0	0,5
Fe	2,5	5,0	5,0	3,0	1,0	1,0	-
Li	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0
Mn	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4
Pb	5,0	5,0	5,0	0,1	0,1	0,1	0,15
Se	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05
Cd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015
Zn	2,0	2,0	2,0	2,0	15	15	0,6
CN	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,005
Cr	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1
Hg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00005
V	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	~

Co	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-
B	1,0	1,0	3,0	3,0	2,0	1,0	-
Mo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
CF (NPP/100 ml)	1000	-	-	200	1000	1000	10 000
Salmonelles (NPP/100 ml)	-	-	-	Aucune	-	-	100 000
Amibes et & Giardia (kystes/l)	<1	-	-	Aucune	-	-	(3)
Nématodes (œufs/l)	<1	-	<1	<1	<1	-	-

⁽¹⁾: DBO dans des effluents provenant de stations d'épuration (avec filtration) et de stations à traitement mécaniques (sans filtration).

⁽²⁾: Ces chiffres varient selon le type de poisson cultivé, le total des matières en suspension (TMES) et la température.

Table 11

Lignes directrices de l'US EPA pour la réutilisation d'eaux récupérées^a (1992)

Catégorie d'utilisation des eaux usées	Objectifs de traitement	Exemples d'application
Utilisation à des fins urbaines		
Sans restrictions	Secondaire, filtration, désinfection $DBO_5 \leq 10 \text{ mg/l}$; turbidité $\leq 2 \text{ NTU}$ Coliformes fécaux ND ^b /100 ml Cl_2 résiduel: 1 mg/l; pH: 6 à 9	Tous les types d'irrigation paysagère: terrains de golf, cimetières, résidences, parcs, terrains de jeu, écoles, cours de récréation; Protection anti-incendie; fontaines ornementales, retenues d'eau; Utilisations dans les bâtiments. Vidange des sanitaires, climatisation
Irrigation d'espaces à accès réglementé	Secondaire et désinfection $DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$; MES $\leq 30 \text{ mg/l}$ Coliformes fécaux $\leq 200/100 \text{ ml}$ Cl_2 résiduel: 1 mg/l; pH: 6 à 9	Espaces gazonnés, sites de sylviculture et autres espaces où l'accès du public est rare et réglementé
Irrigation agricole		
Cultures vivrières non transformées pour le marché	Secondaire, filtration, désinfection $DBO_5 \leq 10 \text{ mg/l}$; turbidité $\leq 2 \text{ NTU}$ Coliformes fécaux: ND/100 ml Cl_2 résiduel: 1 mg/l; pH: 6 à 9	Irrigation de surface ou par aspersion de toutes cultures vivrières, y compris celles à consommer crues
Cultures vivrières transformées pour le marché et cultures non vivrières	Secondaire, désinfection $DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$; TMES $\leq 30 \text{ mg/l}$ Coliformes fécaux $\leq 200/100 \text{ ml}$ Cl_2 résiduel: 1 mg/l; pH: 6 à 9	Irrigation de surface des vergers et vignobles, des pâturages pour animaux à traire, cultures fourragères et semis
Utilisation à des fins récréatives		
Sans restrictions	Secondaire, filtration, désinfection $DBO_5 \leq 10 \text{ mg/l}$; turbidité $\leq 2 \text{ NTU}$ Coliformes fécaux: ND/100 ml Cl_2 résiduel: 1 mg/l; pH: 6 à 9	Pas de limitations pour les bassins, étangs et lacs avec lesquels le public entre en contact pour la baignade
Avec restrictions	Secondaire, désinfection $DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$; MES $\leq 30 \text{ mg/l}$ Coliformes fécaux $\leq 200/100 \text{ ml}$ Cl_2 résiduel: 1 mg/l; pH: 6 à 9	Pêche, canotage et autres activités récréatives sans contact direct du public avec l'eau

Remise en valeur du milieu

Secondaire, désinfection

Zones humides, marais, habitats de la faune et de la flore sauvages, renforcement des cours d'eau

Recharge des nappes aquifères

$DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$; $MES \leq 30 \text{ mg/l}$
Coliformes fécaux $\leq 200/100 \text{ ml}$

En fonction de chaque site

Recharge des eaux souterraines
Lutte contre l'intrusion d'eau
Lutte contre la subsidence

Utilisations industrielles

Secondaire

$DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$; $MES \leq 30 \text{ mg/l}$
Coliformes fécaux $\leq 200/100 \text{ ml}$;
pH: 6 à 9

Eau de complément pour les circuits de refroidissement, eaux des procédés industriels, eau d'alimentation des chaudières, activités de construction

Utilisations potables

Besoins d'eau de boisson sans danger

Mélange avec approvisionnement en eau municipale
Approvisionnement par canalisations séparées

^a D'après l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA) , 1992.

^b Non détecté.

Tableau 12

Normes applicables eaux récupérées au Koweït

Paramètre	Irrigation des cultures vivrières et fourragères à ne pas consommer crues, espaces forestiers	Irrigation de cultures vivrières à consommer crues*
Niveau de traitement	Avancé	Avancé
MES (mg/l)	10	10
DBO (mg/l)	10	10
DCO (mg/l)	40	40
Chlore résiduel (mg/l) Après 12 h à 20°C	1	1
Bactéries coliformes (comptage/100 ml)	10 000	100

* cultures de salades ou de fraises non comprises.

Tableau 13

Lignes directrices concernant les eaux récupérées en Afrique du Sud

Application de la réutilisation	Niveau de traitement	Nombre maximal de coliformes fécaux par 100 ml
Irrigation de fourrage sec, semis, arbres, parcs à usage non récréatif, pépinières (accès limité)	Primaire et secondaire; effluent de décanteur secondaire	< 1000
Cultures vivrières à ne pas consommer crues, fleurs coupées, vergers et vignobles, pâturages, parcs, terrains de sport, terrains scolaires (accès limité)	Primaire, secondaire et tertiaire; réseau de bassins d'oxydation	< 1000
Pâturages pour animaux à traire, terrains de sport, terrains scolaires (accès non limité)	Standard - primaire, secondaire et tertiaire	0,0
Cultures vivrières à consommer crues, pelouses, pépinières, terrains scolaires, parcs pour petits enfants (accès non limité)	(Normes générales relatives à l'eau potable)	-
Réutilisation à des fins industrielles	Primaire, secondaire, et tertiaire, série de bassins d'oxydation	< 1000
Chasse d'eau des toilettes, et dépoussiérage	Standard - primaire, secondaire et tertiaire	0,0
Lavage corporel	Avancé (normes générales relatives à l'eau potable)	-

Tableau 14

Directives microbiologiques révisées de l'OMS pour la réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture ^a

Caté- gorie	Conditions d'utilisation	Groupe exposé	Technique d'irrigation	Nématodes Intestinaux ^b (moyenne arithmétique nombre d'œufs/l ^c)	Coliformes fécaux (moyenne géométrique nombre./100 ml ^d)	Traitement des eaux usées censé permettre d'obtenir la qualité microbiologique requis
A	Irrigation sans restrictions					Série bien conçue de bassins de stabilisation, réservoirs de stockage en discontinu et traitement séquentiel des eaux usées ou traitement équivalent (par ex., traitement secondaire classique complété par des bassins de finissage ou par filtration + désinfection)
	A1 Pour les cultures de légumes et salades à consommer crus, terrains de sport, parcs publics ^e	Travailleurs, consommateurs, public	Toute	$\leq 0,1^f$	$\leq 10^3$	
B	Irrigation avec restrictions					Séjour dans une série de bassins de stabilisation comprenant un bassin de maturation ou en réservoirs de stockage et traitement séquentiels ou traitement équivalent (par ex., traitement secondaire classique complété par bassins de finissage ou par filtration)
	Cultures céréalières, cultures industrielles, cultures fourragères, pâturages et arbres ^g	B1 Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), collectivités situées à proximité	Vaporisation/aspersion	≤ 1	$\leq 10^5$	
		B2 as B1	Inondation/Rigoles	≤ 1	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A

		B3 Travailleurs y compris les enfants < 15 ans, collectivités situées à proximité	Toute	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
C	Irrigation localisée de cultures de la catégorie B si pas d'exposition de travailleurs et du public	Aucun	Ruissell. goutte-à- goutte ou barbotage	Sans objet	Sans objet	Prétraitement comme requis par la technique d'irrigation, mais au minimum sédimentation primaire

^a Dans des cas spécifiques, des facteurs épidémiologiques, socio-culturels et environnementaux devraient être pris en compte et les directives modifiées en conséquence.

^b Les espèces *Ascaris* et *Trichuris*, et les ankylostomes; la limite guide est aussi destinée à protéger contre les risques de parasites protozoaires.

^c À la saison d'irrigation (si les eaux usées sont traitées en bassins de stabilisation ou en réservoirs de stockage et traitement séquentiels qui ont été conçus pour obtenir ces nombres d'œufs, il n'est pas alors nécessaire de pratiquer la surveillance de routine de la qualité de l'effluent.

^d À la saison d'irrigation(le comptage des coliformes fécaux devrait être réalisé de préférence une fois par semaine, et au minimum une fois par mois).

^e Une limite guide plus stricte (≤ 200 coliformes fécaux/100 ml) est indiquée pour les pelouses publiques comme celles des hôtels avec lesquelles le public peut venir en contact direct.

^f Cette limite guide peut être relevée à ≤ 1 œuf/l: i) s'il règne un climat chaud et sec et que l'irrigation de surface n'est pas utilisée, ou ii) si le traitement des eaux usées est complété par des campagnes de chimiothérapie antihelminthique dans les zones de réutilisation des eaux.

^g Pour les arbres fruitiers, l'irrigation devrait cesser deux semaines avant la cueillette des fruits, et aucun fruit ne devrait être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion/vaporisation ne devrait pas être utilisée.

Tableau 15

Critères de qualité japonais concernant l'eau récupérée pour la chasse d'eau des toilettes, l'irrigation paysagère et l'eau de mise en valeur du milieu

Paramètre	Chasse d'eau des toilettes	Irrigation paysagère	Lacs/étangs et cours d'eau ornementaux	Eau de mise en valeur du milieu (cadres esthétiques)	Eau de mise en valeur du milieu (contact limité du public)
Total bactéries coliformes (ufc/100 mL)	≤1,000*	<i>Non décelé</i>	<i>Non décelé</i>	≤1,000	≤50
Chlore résiduel (combiné), (mg/l)	Quantité en traces	≥0,4	-		
<u>Aspect</u>	Non désagréable	Non désagréable	Non désagréable	-	-
Turbidité, unités	-	-	-	≤10	≤5
DBO (mg/l)	-	-	≤10	≤10	≤3
Odeur	Non désagréable	Non désagréable	Non désagréable	Non désagréable	Non désagréable
pH, unités	5,8-8,6	5,8-8,6	5,8-8,6	5,8-8,6	5,8-8,6
Couleur, unités	-	-	-	≤40	≤10

* La méthode de mesure japonaise du total des coliformes comporte l'emploi de plaques pour le comptage avec un échantillon de 1 ml, avec un résultat qui devrait être égal ou inférieur à 10/10 ml (i.e., ≤ 1 000/100 ml).

Tableau 16

Critères californiens proposés pour les projets de recharge et de réutilisation des nappes aquifères (d'après Asano et Cotruvo, 2002)

Type de contaminant	TYPE DE RECHARGE	
	Épandage au sol	Injection sous la surface
<i>Microrganismes pathogènes</i>		
Traitement secondaire	MES $\leq$ 30 mg/l	
Filtration	$\leq$ 2 NTU	
Désinfection	Inactivation 4-log virus $\leq$ 2,2 total de coliformes par 100 mL	
Délai de séjour sous terre	6 mois	12 mois
Séparation horizontale	150 m	600 m
Contaminants réglementés	Répondent aux niveaux maximaux de contaminants pour l'eau potable	
<i>Contaminants non réglementés</i>		
Traitement secondaire	BOD $\leq$ 30 mg/L, TOC $\leq$ 16 mg/L	
Osmose inverse	Quatre options disponibles	Traitement 100% jusqu'à $COT \leq \frac{1 \text{ mg / l}}{RWC}$
Critères d'épandage pour COT à 50% saturation	Distance à la nappe à des taux de percolation initiaux de: < 0,5 cm/mn = 3 m	Sans objet
Crédit d'épuration	< 0,3 cm/min = 6 m	
		Sans objet
Contribution de l'eau récupérée	$\leq$ 50%	

Note: RWC = taux de contribution de l'eau récupérée à l'eau souterraine prélevée au moyen d'un puits d'eau potable.

DÉFINITIONS DES TERMES: Systèmes d'irrigation par ruissellement et de filtration (d'après ICID, 1977)

Irrigation par ruissellement: application fréquente de petites quantités d'eau directement ou sous la surface du sol, habituellement sous forme de gouttes en discontinu, de gouttes en continu, de filets d'eau ou de mini-aspersions à travers des émetteurs ou applicateurs placés le long d'une rampe de distribution de l'eau. L'irrigation par ruissellement englobe un certain nombre de méthodes ou de concepts d'irrigation, tels que le goutte-à-goutte, les réseaux enterrés, le barbotage et l'aspersion.

Irrigation goutte-à-goutte: application d'eau à la surface du sol sous forme de gouttes en discontinu ou en continu, ou de filets d'eau, par des émetteurs. Les termes irrigation par ruissellement ou goutte-à-goutte sont souvent considérés comme synonymes. Cependant, dans cette pratique d'ingénierie, l'irrigation par ruissellement comprend aussi des systèmes qui ont un débit plus élevé que la plupart des systèmes goutte-à-goutte. Dans l'irrigation goutte-à-goutte, les débits des émetteurs ponctuels sont généralement inférieurs à 12 l/h pour les émetteurs à un seul orifice, et des émetteurs en série linéaire généralement inférieurs à 12 l/h/m de chaque côté.

Irrigation souterraine (ou sous la surface) : application d'eau sous la surface du sol par des émetteurs dont le débit est généralement du même ordre que dans l'irrigation goutte-à-goutte. Cette méthode d'application de l'eau est différente et ne doit pas être confondue avec celle où la rhizosphère est irriguée par régulation du niveau de remontée de la nappe phréatique, dite alors "subirrigation".

Irrigation par barbotage: application d'eau à la surface du sol sous forme d'un petit courant ou jet d'eau, où les débits des émetteurs ponctuels sont supérieurs à ceux des émetteurs goutte-à-goutte ou enterrés mais généralement inférieurs à 225 l/h. Comme le débit des émetteurs dépasse normalement le taux d'infiltration dans le sol, un petit bassin est habituellement nécessaire pour contenir ou réguler l'eau.

Irrigation par aspersion(*): application de l'eau par une petite aspersion ou un petit brouillard de pulvérisation à la surface du sol, où le trajet dans l'air contribue à la répartition de l'eau par comparaison avec l'irrigation par goutte-à-goutte, barbotage et en réseau enterré(où ce sont le sol ou les canalisations de distribution qui sont avant tout responsables de la répartition de l'eau). Les débits des émetteurs d'aspersion ponctuels sont généralement inférieurs à 115 l/h.

Réseaux d'irrigation par ruissellement: éléments matériels nécessaires pour appliquer l'eau dans ce type d'irrigation. Ils peuvent comprendre une station de pompage, une station de régulation, des canalisations principales et subsidiaires, des canalisations séparées, des canalisations latérales, des émetteurs, des valves, des raccords et autres dispositifs.

Système de filtration: assemblage d'éléments matériels utilisés pour éliminer les matières en suspension de l'eau d'irrigation. Il peut comprendre un dispositif sous pression ou par gravité, des tamis, lits filtrants et appareils de force centrifuge.

(*) Dans le présent document, l'irrigation par aspersion est mentionnée comme irrigation par micro-asperseurs.