

**Water Resources Sustainability Project
(WRS)**

Reutilisation des Eaux Usees en Irrigation

**Deliverable for
United States Agency for International Development**

Contract No. 608-0222-C-00-6007-00

Environmental Alternatives Unlimited (E.A.U.)

B.P. 8967, Agdal - Rabat

Tel : (037) 77 37 88 / 77 37 98

Fax : (037) 77 37 92

E-Mail : proprem@iam.net.ma

TABLE DES MATIERES

1	Situation marocaine	9
1.1	Identification des zones de réutilisation d'eaux usées	9
1.2	Définition des zones prioritaires pour la réutilisation	11
1.3	Méthodologie de classification des zones prioritaires proposée par le SDNAL (1998)	12
1.3.1	Situation de la REU à Oujda (SDNAL, 1998)	13
1.3.2	Situation de la REU à Marrakech (SDNAL, 1998)	14
2	Aspects réglementaires	14
2.1	Directives OMS pour la réutilisation des eaux usées en agriculture	15
2.2	Normes utilisées à l'étranger	16
2.3	Directives européennes relatives à la valorisation agricole des boues d'épuration	23
2.4	Situation au Maroc	25
2.4.1	Loi 10-95	25
2.4.2	Projet de norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation	25
2.4.3	Procédure d'établissement de normes	27
3	les bonnes pratiques agricoles	31
3.1	Sélection des cultures	31
3.2	Base de la sélection d'une méthode d'irrigation	32
3.2.1	Diminuer le contact avec les eaux usées	33
3.2.2	Fonctionnement et entretien	33
3.2.3	Problèmes de colmatage	34
3.3	Le problème de l'excès d'azote	34
3.4	Approche du contrôle intégré	34
4	Conclusion	36
5	Bibliographie	37
6	Annexes	39
6.1	Caractéristiques des eaux usées domestiques	39
6.1.1	MES et matières organiques	40
6.1.2	Substances nutritives	40
6.1.3	Eléments traces	42
6.1.4	Toxicité spécifique de certains ions (chlore, sodium, bore)	44
6.1.5	Salinité	45
6.1.6	Sodicité	46
6.1.7	Micro-organismes pathogènes	48
6.1.8	Mesures de lutte sanitaire	51
6.1.9	Recommandation pour le contrôle	55
6.2	Projets pilotes de traitement et de réutilisation des eaux épurées	56
6.2.1	Ouarzazate	56
6.2.2	Station d'épuration de Ben Slimane	66
6.2.3	Le projet pilote de Ben Sergao	69
6.2.4	La station de Drarga	76
6.3	Aperçu des réglementations des différents pays méditerranéens sur la réutilisation des eaux usées	77

6.4 Zones prioritaires : classement des centres selon le critère utilisation des eaux usées épurées81

Liste des tableaux

Tableau 1: Superficies irriguées par des eaux usées brutes	9
Tableau 2: Liste des centres où la REU est pratiquée.....	10
Tableau 3: Classement des bassins versants en fonction du déficit hydrique	12
Tableau 4: Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées dans l'agriculture.....	15
Tableau 5: Critère de qualité pour la réutilisation des eaux usées épurées en vue de l'irrigation non restrictive	18
Tableau 6: Proposition de critères microbiologiques et physico-chimiques minimaux pour la réutilisation des eaux usées épurées.....	21
Tableau 7: Les directives UE pour l'utilisation des boues résiduaires en agriculture.....	23
Tableau 8: Teneurs en éléments traces des boues résiduaires	24
Tableau 9: : Projet de norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation	26
Tableau 10: typologie des eaux usées au Maroc.....	27
Tableau 11 : Charges bactériennes et parasitaires usuelles dans les eaux usées domestiques	28
Tableau 12: Performances de différents systèmes de traitement des eaux usées ...	28
Tableau 13: Proposition de critères microbiologiques minimaux pour la réutilisation des eaux usées épurées	30
Tableau 14: : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures à prendre si les directives de l'OMS ne sont pas respectées	35
Tableau 15: Constituants à considérer pour l'irrigation avec des eaux usées.....	39
Tableau 16 : Apport en NPK (kg/ha) par les eaux de nappe, brutes et épurées par lagunage pour un volume d'eau d'irrigation de 6500 m ³ /ha – culture de tomate	42
Tableau 17: Concentrations maximales (Mg/l) en éléments traces recommandées pour les eaux d'irrigation	43
Tableau 18: Concentrations d'éléments à l'état de trace dans les eaux de nappe, les eaux usées brutes et les eaux usées épurées de Ouarzazate (mg/l).....	43
Tableau 19: : Concentrations en Na et Cl de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles (a,b)	44
Tableau 20: Normes d'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation quand à la toxicité spécifique de certains ions.....	45
Tableau 21: Normes d'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation quant à la salinité.....	46
Tableau 22: Principaux facteurs de transmission de maladies pour les pathogènes associés à l'utilisation des eaux usées. Caractéristiques épidémiologiques de quelques agents pathogènes des eaux usées (valeurs moyennes tirées de la bibliographie)	49
Tableau 23: taux d'élimination en fonction du procédé d'épuration.....	51
Tableau 24: Caractéristiques physico-chimiques des eaux utilisées pour l'irrigation	59
Tableau 25: Contamination par les coliformes et les streptocoques fécaux des différents types de cultures menées sur le site du projet. (exprimé en nombre de germes/ gr de poids frais)	61
Tableau 26: caractéristiques des composantes de la filière LHR.....	64
Tableau 27 : Moyennes annuelles des principales caractéristiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie des composantes de la filière LHR.....	65
Tableau 28 : Résultats d'analyses et performances épuratoires de la station de Ben Slimane.....	68

Tableau 29 : Résultats des analyses de la station de Ben Sergao.....	73
Tableau 30 : Caractéristiques des eaux usées brutes et qualité des eaux usées épurées de la commune de Drarga.....	76

REUTILISATION DES EAUX USEES AU MAROC

Actuellement le Maroc réutilise les eaux usées sans les traiter sur tous les types de culture. Il s'agit là d'une situation grave car ces eaux usées contiennent des agents pathogènes qui peuvent déclencher des maladies (Annexe 6.1). En soi, la réutilisation est une bonne idée car elle conserve une ressource de plus en plus rare et apporte aux cultures une partie des engrais dont elles ont besoin. Beaucoup de pays pratiquent cette réutilisation depuis longtemps. Cependant, pour qu'elle s'effectue dans de bonnes conditions, il faut traiter ces eaux usées selon des normes précises. Comment déterminer ces normes et quel est le coût de leur application ? Le but de ce rapport est de répondre à ces questions.

Avec un potentiel hydrique mobilisable actuel de 1000 m³/hab.an, le Maroc est proche du seuil de vulnérabilité (750 m³/hab.an). En dessous de ce seuil, l'équilibre besoins-ressources devient précaire et compromet gravement le développement du pays. De fortes irrégularités géographiques et chronologiques de la répartition des ressources en eau aggravent encore la situation. Certaines régions ont déjà recours à des méthodes non conventionnelles d'exploitation des ressources en eau comme le dessalement de l'eau de mer à Laayoune. Les nappes souterraines sont souvent surexploitées dans les régions du sud.

Dans ce contexte tendu, la Réutilisation des Eaux Usées Epurées (REUE) permettrait d'exploiter une ressource additionnelle non négligeable. La REUE ne résoudra pas tous les problèmes de manque d'eau qui apparaîtront d'ici les 20 prochaines années, mais c'est une option à développer avant de recourir à des méthodes plus coûteuses telles que le dessalement de l'eau de mer ou le transfert d'eau entre régions. Les programmes d'assainissement des grandes villes tentent déjà d'intégrer dans leur schéma directeur, une éventuelle utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles.

Il y a longtemps que l'on réutilise les eaux usées brutes au Maroc, en particulier à proximité des villes impériales en raison de la forte population concentrée autour de ces villes et des besoins importants en produits agricoles de base. Cette réutilisation se fait de manière anarchique sans tenir compte des contraintes sanitaires et environnementales entraînant des risques sanitaires pour les populations riveraines et des risques de pollution de la nappe phréatique et de dégradation des sols. Cette pratique ancienne repose certes sur de bonnes intentions, entre autres conservation de l'eau et utilisation d'engrais, mais est dangereuse et doit faire place à de nouvelles pratiques fondées sur le traitement des eaux usées selon des normes strictes.

L'irrigation avec des eaux usées traitées est très utile dans les régions dont la pluviosité est inférieure à 500 mm et plus particulièrement dans les pays en voie de développement où elle permet en plus de réduire considérablement l'utilisation d'engrais importés. Toutefois, certains problèmes sanitaires restent à résoudre afin d'éviter la propagation d'organismes pathogènes par des eaux d'irrigation qui ont subi une contamination fécale.

Actuellement, de nombreux pays réutilisent, à petite ou à grande échelle, les eaux usées en agriculture après les avoir traitées: Angleterre, Israël, Maroc, Tunisie, Inde, Allemagne, Afrique du Sud, Russie, Australie, Mexique, Pays du Golfe Persique,... Aux Etats-Unis, 34 Etats disposent de réglementations ou de recommandations - souvent très exigeantes - sur l'usage agricole des eaux usées (EPA & USAID, 1992 cité par Faby, 1997). Dans certains pays arides et semi-arides, cette réutilisation est une des méthodes les plus utilisées pour exploiter les ressources en eau.

Ce rapport, financé par l'USAID dans le cadre du projet de « Pérennité des Ressources en Eau du Maroc –PREM », a pour but de fournir au SEE les éléments de base nécessaires à la mise en place d'une réglementation nationale sur la réutilisation des eaux usées en agriculture. Ce document de base caractérise les eaux usées domestiques (Annexe 6.1), ainsi que les procédés de traitement et de réutilisation, présente la situation marocaine et compare les contextes réglementaires au Maroc et dans d'autres pays (annexe 6.5).

1 SITUATION MAROCAINE

1.1 Identification des zones de réutilisation d'eaux usées

La réutilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation des cultures est une pratique courante et ancienne au Maroc. Le Conseil Supérieur de l'Eau (CSE), dans sa 8^{ème} session, estime que 7 235 ha sont irriguées par les eaux usées (Tableau 1). On note la prédominance de cultures maraîchères. Le CSE estime qu'il y aura 900 million de m³ d'eaux usées en 2020, soit environ 5% du volume d'eau mobilisable. Même si cela ne représente pas un grand enjeu à l'échelle nationale en terme de quantité de ressources en eau, la REU peut revêtir un caractère vital dans certaines régions où la ressource en eau est limitée.

TABEAU 1: SUPERFICIES IRRIGUEES PAR DES EAUX USEES BRUTES

PROVINCES	SUPERFICIE (HA)	CULTURE
Marrakech	2000	Céréales, maraîchages, arboricultures
Meknès	1400	Maraîchages, arboricultures, fourrages
Oujda	1175	Céréales, maraîchages, arboricultures
Fès	800	Maraîchages, arboricultures
El Jadida	800	Maraîchages, fourrages
Khouribga	360	Céréales, maraîchages
Agadir	310	Maraîchages, arboricultures, soja, floriculture
Béni Mellal	225	Céréales, maraîchages, coton, betterave
Ben Guérir	95	Maraîchages, arboricultures, fourrages
Tétouan	70	Maraîchages, fourrages
TOTAL	7235	

Source : CSE – 8^{ème} Session, 1992

Une enquête réalisée dans le cadre du SDNAL (Tableau 2) a identifié 70 zones de réutilisation des eaux usées réparties sur l'ensemble du territoire. D'après les auteurs de cette enquête, ce nombre paraît sous-estimé, vu le contexte climatique et social du pays laissant penser que partout où une eau est disponible en quantité significative et continue, elle est utilisée à des fins agricoles. Cette liste n'est probablement pas exhaustive et la réutilisation est sans doute plus généralisée qu'il n'y paraît dans la liste du Tableau 2 pour deux raisons :

- si la réutilisation n'est pas perceptible immédiatement à l'aval du rejet des eaux usées, elle est parfois pratiquée plus loin de façon indirecte non inventoriée,
- vu le caractère informel et illégal de cette pratique, on peut supposer que la totalité des utilisateurs n'ont pas répondu à l'enquête.

De l'avis même des auteurs du SDNAL, il est actuellement difficile de cerner de façon précise l'état de la réutilisation des eaux usées au Maroc. La REU est pratiquée dans tout le pays sur tous les types de culture (fourrage, arboriculture, maraîchage, grandes cultures,...) sans aucune précaution sanitaire.

Les enquêtes et interviews d'agriculteurs indiquent que ceux-ci ont acquis, localement, une bonne expérience agronomique de l'irrigation avec les eaux usées. Ils savent, par exemple, qu'un apport de matière organique par les eaux usées compense la salinité des eaux ou encore ils pratiquent seulement une ou deux irrigations à l'eau brute pour éviter un excès de fertilisants qui entraînerait, par

exemple, la verse des céréales. Par contre, les conséquences sanitaires de la réutilisation d'eaux usées brutes est souvent méconnue par les agriculteurs.

Les motivations pour utiliser les eaux usées sont de plusieurs ordres :

- valorisation de la matière organique et des éléments fertilisants;
- économie d'énergie ; et
- insuffisance de la ressource en eau de nappe ou de surface

TABLEAU 2: LISTE DES CENTRES OU LA REU EST PRATIQUEE

Centres	Province	Bassin Versant	Source Info	Popula-Tion 1994	R.E.U			Milieu		
					Existence	eaux Brutes	Surf. Act (ha)	Récepteur Nature	Pollution du milieu	Déficit dans région
AFOURAR	AZILAL	Oum Er'Rbia	ET	11 402	1	1		Séguia		0
AZILAL	AZILAL	Oum Er'Rbia	ENQ	18 080	1	1		Talweg	1	0
BZOU	AZILAL	Oum Er'Rbia	ET	3 097	1	1		Oued		1
DEMNATE	AZILAL	Oum Er'Rbia	ENQ	17 782	1	1		OP	1	0
FOUM JAMAA	AZILAL	Oum Er'Rbia	ET	4 433	1	1		Oued n.p		1
OOUUZAGHT	AZILAL	Oum Er'Rbia	ET	7 179	1	1		Oued		0
BEN SLIMANE	BEN SLIMANE	Cot.Atl.	ENQ	36 977	1	1		OS	1	1
BOUZHNIKA	BEN SLIMANE	Cot.Atl.	ENQ	21 327	1	0		OP-OS	1	1
SOUK SEBT O. NEMA	BENI MELLAL	Oum Er'Rbia	ENQ	40 339	1	1		OP	1	1
BENI MELLAL	BENI MELLAL	Oum Er'Rbia	A	140 212	1	1	225	OS	1	0
BEJAAD	KHOURIBGA	Cot.Atl.	ENQ	33 321	1	0		OS	0	1
KHOURIBGA	KHOURIBGA	Oum Er'Rbia	A	152 090	1	1	360	Talweg	1	1
OUAD ZEM	KHOURIBGA	Oum Er'Rbia	ENQ	73 953	1	1		OP	1	1
SETTAT	SETTAT	Cot.Atl.	ET	96 217	1	1		Oued	1	1
FES	FES	Sebou	A	769 014	1	1	800	OP,OS	1	1
AINCHEGGAG	SEFROU	Sebou	ENQ	3 615	1	1		OS	1	1
BHALIL	SEFROU	Sebou	ENQ	10 678	1	1			0	0
EL MENZEL	SEFROU	Sebou	ENQ	10 785	1	1		OS	1	0
IMOUZZER KANDAR	SEFROU	Sebou	ENQ	11 555	1	0				0
SEFROU	SEFROU	Sebou	ET	54 163	1	1		Oued		0
TAOUNATE	TAOUNATE	Sebou	ET	24 378	1	1		Talweg		0
TISSA	TAOUNATE	Sebou	ET	7 059	1	1		Oued		0
GUERCIF	TAZA	Moulouya	ENQ	41 997	1	1		OP	1	1
AIN JEMAA	MEXNES	Sebou	ENQ	2 470	1	1		OS	1	1
TOULAL	MEXNES	Sebou	ENQ	12 668	1	1		OP	1	1
AGOURAI	EL HAJEB	Sebou	ENQ	10 033	1	1		OS	1	1
AIN TAOUJDATE	EL HAJEB	Sebou	ENQ	16 070	1	1		OS	1	1
EL HAJEB	EL HAJEB	Sebou	ENQ	23 369	1	1				0
ERRACHIDIA	ERRACHIDIA	Ziz	ET	62 542	1	1		Oued Hmer.n.p		1
ERRICH	ERRACHIDIA	Ziz	ET	13 952	1	1		OuedZiz n.p		1
AIN LEUH	IFRANE	Sebou	ENQ	5 055	1	1		OP+R		0
AZROU	IFRANE	Sebou	ENQ	40 808	1	1		OS	1	0
IFRANE	IFRANE	Sebou	ENQ	11 209	1	1		OP	1	0
TIMAHDITE	IFRANE	Sebou	ENQ	1 795	1	1		OP-RUE	1	0
MEKNES	MEKNES	Sebou	ET+A	401 952	1	1	1400	OP	1	1
HAI KADDOUR	MEKNES	Sebou	ENQ	2 696	1	1		OS	1	1
Mly IDRIS ZERHOUNI	MEKNES	Sebou	ENQ	12 521	1	1		OP	1	0
OUISLANE	MEKNES	Sebou	ENQ	28 694	1	1		OP-OS	1	1
CHEFCHAOUEN	CHEFCHAOUEN	BTCM	ENQ	31 410	1	1		OP	1	0
SIDI YAHYA EL GHARB	KENITRA	Sebou	ENQ	29 965	1	1		OS	1	1
KHEMISSSET	KHEMISSSET	Sebou	A	88 839	1	1		OS		1
SIDI ALLAL EL BAHRAO	KHEMISSSET	Bou Regreg	ET	6 581	1	1		Oued		1

ET = Etude, ENQ = Enquête, A = Autre

Tableau 2 : Liste des centres où la REU est pratiquée (suite)

Centres	Province	Bassin Versant	Source Info	Popula-tion 1994	R.E.U			Milieu		
					existence	eaux brutes	Surf. Act (ha)	Récepteur Nature	Pollution du milieu	Déficit dans région
TIDDAS	KHEMISSSET	Bou Regreg	ENQ	3 160	1	1		OS	0	1
KSAR EL KIBIR	LARACHE	Loukkos	A	107 065	1	1		OP	1	0
QUEZZANE	SIDI KACEM	Sebou	ENQ	52 168	1	1		OS	1	0
SIDI KACEM	SIDI KACEM	Sebou	ENQ	67 622	1	1		OP	1	1
TETOUAN	TETOUAN	BTCM	ET	277 516	1	1	70	Oued		0
AHFIR	BERKANE TAOURIR	Moulouya	ENQ	20 508	1	1		OP	1	1
BERKANE	BERKANE TAOURIR	Moulouya	A	77 026	1	1		OP	NC	1
EL AJOUN S. MELLOUK	BERKANE TAOURIR	Moulouya	ENQ	30 789	1	1		OS	1	1
AIN BNI MITHAR	JERADA	Moulouya	ENQ	10 532	1	1		OP	1	1
JRADA	JERADA	Moulouya	ENQ	59 367	1	1		OS-R	0	1
ZAIO	NADOR	Moulouya	ET	25 920	1	1		Séguia		1
OUJDA	OUJDA ANGAD	Moulouya	A	351 878	1	1	1175	OS.sol	1	1
Grand AGADIR	AGADIR	Souss-Massa	ET	499 458	1	1	310	Mer.O.So ues		1
OUARZAZATE	OUARZAZATE	Draa	ET	39 203	1	1		Oued		1
TAROUDANNT	TAROUDANT	Souss-Massa	ENQ	57 136	1	1		REU	0	1
TIZNIT	TIZNIT	Guelmin-Tinit	ENQ	43 001	1	0		R	1	1
IMINTANOUTE	CHICHAOUNA	Tensift	ENQ	12 592	1	1		OS	1	1
KILAAT SRAGHNA	EL K. SRARHNA	Cot.Atl.El Jad à Safi	ENQ	51 404	1	1			1	1
BEN GUIRIR	EL K. SRARHNA	Cot.Atl.El Jad à Safi	ET	47 080	1	1	95	Oued n.p		1
LA ATTAOUIA	EL K. SRARHNA	Cot.Atl.El Jad à Safi	ET	11 219	1	1		canal irrig.		1
SIDI RAHAL	EL K. SRARHNA	Tensift	ET	6 292	1	1		Oued		1
TAMALLALT	EL K. SRARHNA	Tensift	ET	3 701	1	1		Séguia		1
TALMEST	ESSAOUIRA	Cot.Atl. E	ENQ	3 406	1	1		OS	1	1
AIT OURIR	HAOUZ	Tensift	ET	12 162	1	1		Oued		1
AMIZMIZ	HAOUZ	Tensift	ET	8 955	1	1		Oued		0
Mly. BRAHIM	HAOUZ	Tensift	ENQ	3 117	1	1		UTIL.IRR	1	0
MARRAKECH	MARRAKECH	Tensift	ET	672 506	1	1	2000	Oued n.p.sol		1
SID ZOUINE	MARRAKECH	Tensift	ENQ	7 726	1	1			0	1
SEBT GZOULA	SAFI	Cot.Atl.El Jad à Safi	ET	10 363	1	1		Daya		1
OUTAT EL HAJ	BOULEMANE	Moulouya	ET	9 987	1			Oued		1
JORF EL MELHA	SIDI KACEM	Sebou	ET	10 187	1			Oued		1

ET = Etude, ENQ = Enquête, A = Autre
Source : SDNAL, 1998

1.2 Définition des zones prioritaires pour la réutilisation

La définition des priorités régionales ou locales a été basée sur les considérations suivantes (SDNAL, 1998):

- REU existante ;
- Volume des eaux usées en jeu ;
- Rareté des ressources en eau à l'échelle du bassin où la REU représente un manque à gagner ;
- Rôle complémentaire de protection de l'environnement (nappes, retenues, cours d'eau,...) et par conséquent, protection de la santé publique ou des intérêts économiques ; et
- Contrainte de pompage.

La REU est considérée comme prioritaire là où elle est actuellement pratiquée pour des raisons économiques et sociales. Cette pratique génère pour les agriculteurs concernés des plus-values comparables, voire supérieures aux périmètres irrigués.

La REU revêt un caractère vital quand les ressources en eau sont limitées à l'échelle du bassin. On économise ainsi une eau potabilisable nécessitant peu ou pas de traitement préalable. On procède en quelque sorte à un échange de ressource.

Enfin, la REU peut être considérée également comme prioritaire lorsqu'elle a un rôle de protection de l'environnement en général et des ressources en eau en particulier.

L'annexe 6.2 présente les précautions à prendre lors de la réutilisation des eaux usées.

1.3 Méthodologie de classification des zones prioritaires proposée par le SDNAL (1998)

Les bassins versants qui ont le plus gros déficit hydrique selon les données du Conseil Supérieur de l'Eau sont classés en premier (voir Tableau 3)

TABLEAU 3: CLASSEMENT DES BASSINS VERSANTS EN FONCTION DU DEFICIT HYDRIQUE

BASSIN	CLASSE
Draa, Ziz, Guelmin-Tiznit, Skia al Hamra, Guir et Côtières Atlantiques sahariens	1
Souss Massa	2
Tensift, Côtier Atlantique El Jad à Safi et Côtier Atlantique Essaouira	3
Oum Er Rbia	4
Moulouya	5
Côtier Atlantique Casa et Bou Regreg	6
Bassin Tangérois et Côtiers Méditerranéens (BTCM)	7
Sebou et Loukkos	8

Source : Conseil Supérieur de l'Eau et SDNAL, 1998

On distingue ensuite deux catégories de villes :

- les villes continentales où la REU se fera gravitairement ;
- les villes côtières où la REU nécessitera un pompage afin d'atteindre un site de stockage et de réutilisation.

Dans la catégorie des villes continentales, on distingue les villes où la REU :

- existe déjà ;
- n'est pas pratiquée, mais les débits d'eau usées produits sont importants ; et
- n'est pas pratiquée et les débits en jeu sont faibles.

Le SDNAL fixe le seuil entre débit faible et débit important à 250 000 m³ d'eau usée par an en 2015, permettant d'irriguer environ une dizaine d'hectares.

Voici les trois premières catégories retenues comme prioritaires :

- I. les villes continentales où la REU est existante,
- II. les villes continentales où la REU est non existante et dont les débits sont importants;

III. les villes côtières nécessitant un pompage vers les sites d'utilisation et dont les débits sont importants;

Lorsque les terrains autour des villes continentales se sont pas disponibles, on réoriente la REU vers les espaces verts ou de loisirs ou vers la protection contre les vents de sables en milieu saharien. Uniquement pour les villes côtières, le SDNAL pondère le volume d'eaux usées par bassin en raisonnant en ordre de grandeur du coût marginal de mobilisation d'un volume d'eau équivalent. Les coefficients de majoration sont les suivants :

- Zone saharienne :	20
- Zone du Souss :	6
- Zone Atlantique Essaouira-El Jadida :	2
- Zone Atlantique Casa-Larache :	1
- Zone BTCM :	1.

La zone Atlantique Casablanca-Larache est riche en ressource en eau ; par conséquent, le coût marginal pour mobiliser un nouveau volume d'eau est faible, d'où un coefficient de pondération faible. Par contre en zone saharienne, le coût de mobilisation est très élevé (dessalement de l'eau de mer).

L'annexe 6.3 classe les centres selon la priorité à la REU. La cote varie de 100 (centre le plus prioritaire) à 50 (centre le moins prioritaire).

Il est possible de concevoir différentes formes de REU :

- Valorisation indirecte des eaux usées par rejet dans un oued pérenne possédant un bon pouvoir auto-épurateur. Les eaux mélangées peuvent être utilisées plus en aval moyennant un suivi qualitatif des eaux.
- Valorisation indirecte par stockage inter-saisonnier des eaux traitées dans des retenues collinaires servant généralement à l'irrigation de périmètres hydro-agricoles.
- Valorisation indirecte par stockage inter-saisonnier des eaux traitées dans les nappes et pouvant servir à l'irrigation agricole, à des usages industriels
- Valorisation agronomique directe par l'irrigation de terres agricoles ou d'espaces verts. Le niveau de traitement des eaux usées sera fonction du type de cultures irriguées et du système d'irrigation utilisée.
- Valorisation directe fondée sur le système épurateur du sol et de la plante (géoépuration). L'eau ainsi épurée est d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique et peut servir à un usage agricole direct (maraîchage) ou à recharger une nappe sur-exploitée.

Oujda et Marrakech figurent parmi les centres les plus prioritaires.

1.3.1 Situation de la REU à Oujda (SDNAL, 1998)

A Oujda, la REU se pratique sur une superficie de 510 ha à cause de la pénurie d'eau. Les cultures irriguées sont les fourrages (226 ha), les céréales (115 ha), les arbres (113 h) et le maraîchage (56 ha).

Hormis les périodes de pluies, le débit naturel de l'oued Bounaim est nul. L'écoulement des eaux usées est souvent aménagé ou provoqué par les agriculteurs qui utilisent cette eau. C'est une donnée socio-économique qui ne peut être ignorée

dans un futur plan d'aménagement. Si cette ressource était supprimée, les agriculteurs détruiraient les canalisations afin de s'assurer une alimentation permanente en eau. Un plan d'aménagement doit donc prévoir d'alimenter cet oued avec des eaux épurées afin de satisfaire la demande des agriculteurs installés sur ses rives et qui utilisent les eaux usées directement par pompage depuis très longtemps.

1.3.2 Situation de la REU à Marrakech (SDNAL, 1998)

A Marrakech, la valorisation des eaux usées est une nécessité compte tenu de l'aridité du climat. Le rejet dans le Tensift soutient son débit et permet une valorisation indirecte plus en aval.

Les eaux usées de la ville sont utilisées depuis plus de 60 ans par les agriculteurs sur le périmètre agricole de « El Azzouzia » pour l'irrigation de cultures. La mauvaise maîtrise des effluents se traduit par une pollution massive du milieu récepteur (eaux superficielles et eaux de nappe). Que ce soit en valorisation directe ou indirecte, les eaux usées de la ville irriguent environ 2 000 ha. Un bref cahier des charges spécifie que les cultures maraîchères dont les produits se mangent crus sont formellement interdites et que les eaux usées sont réservées uniquement à l'irrigation des cultures fourragères.

Le partage des eaux usées entre chaque agriculteur est analogue au partage des eaux des séguias traditionnelles. Le partage est fondé sur les droits d'un agriculteur à avoir l'eau pendant un temps dans un tour d'eau. Ce temps n'est lié ni à la superficie, ni au type de culture pratiquée.

2 ASPECTS REGLEMENTAIRES

La réutilisation des eaux pour l'irrigation n'est possible que si les eaux usées sont traitées selon certaines normes de qualité. La définition de normes et d'une réglementation spécifique sont indispensables pour toute politique de mise en œuvre d'une réutilisation durable. Ces normes devront préciser la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux épurées afin de garantir la protection de la santé humaine et la préservation de l'environnement.

Il y a deux approches pour définir les normes sanitaires de la REU en agriculture : l'approche « risque zéro » et l'approche épidémiologique.

Le concept « risque zéro » a été développé aux Etats-Unis juste après la seconde guerre mondiale. Il considère que la présence d'un organisme pathogène dans l'environnement constitue un risque sérieux pour la santé publique. Cette approche, choisie par de nombreux états, est à la base de la norme de 2,2 CT/100 ml pour les eaux usées destinées à irriguer des légumes consommés crus. Cette norme, trop sévère pour les pays en voie de développement (PVD), n'a pu y être appliquée pour des raisons techniques et surtout financières. Dans ces pays, la demande croissante en denrées alimentaires et l'absence de normes adaptées ont entraîné une réutilisation des eaux usées brutes qui nuisent à la santé publique.

L'Organisation Mondiale de la Santé, consciente de l'enjeu de la REU dans les pays en voie de développement et des problèmes sanitaires créés par ce vide normatif, a lancé en 1982 une série d'études épidémiologiques qui ont abouti à plusieurs Directives.

2.1 Directives OMS pour la réutilisation des eaux usées en agriculture

Il s'agit de directives sanitaires, conçues pour protéger les agriculteurs, les riverains et les consommateurs des produits agricoles. L'approche utilisée pour établir ces directives diffère de l'approche « risque zéro ». Ces directives sont basées sur la réflexion selon laquelle la présence d'un pathogène dans l'environnement se suffit pas à déclencher la maladie. D'autres facteurs tels que la quantité excrétée, le temps de latence, la survie dans l'environnement, la multiplication, la dose infectante, la réponse de l'hôte, l'existence d'hôtes animaux (voir section 6.1.7), conditionnent l'intensité du risque lié à la présence du pathogène.

En 1985, lors de la réunion d'Engelberg (Suisse), puis en 1989, les experts de l'OMS ont rehaussé les valeurs limites, avec l'espoir d'une utilisation accrue des eaux usées en agriculture dans les PVD (Tableau 4).

TABLEAU 4: DIRECTIVES CONCERNANT LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX USEES UTILISEES DANS L'AGRICULTURE

CATEGORIE	CONDITIONS DE REALISATION	GROUPE EXPOSE	NEMATODES INTESTINAUX ^A (NBRE D'OEUF/LITRE) MOYENNE ARITHMETIQUE	COLIFORMES INTESTINAUX (NBRE PAR 100 ML) MOYENNE ^B GEOMETRIQUE	PROCEDE DE TRAITEMENT SUSCEPTIBLE D'ASSURER LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE VOULUE
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^C	Ouvriers agricoles Consommateurs, public	# 1	#1.000 ^d	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres ^e	Ouvriers agricoles	# 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B. si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

Source : OMS, 1989

^a Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes.

^b Pendant la période d'irrigation.

^c Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

^d Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.

^e Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

Les directives de 1989 recommandent :

- l'élimination complète (ou quasi) des Helminthes intestinaux, avec une moyenne < 1 œuf par litre d'eau ; et
- une élimination importante des bactéries pathogènes, avec une valeur moyenne < 1 000 C.F. /100 ml.

Ces deux mesures sont de stricte application pour l'irrigation non restrictive, tandis que pour l'irrigation restrictive on insiste uniquement sur l'élimination des Helminthes. Plusieurs arguments permettent de justifier la suffisance de la valeur de 1 000 C.F. /100 ml pour l'irrigation de toutes les cultures :

- il y a une mort naturelle des agents pathogènes ;
- les rayons U.V. donnent lieu à une certaine inactivation des pathogènes ;
 - les effets combinés de la dessiccation et des prédateurs diminuent très fortement les pathogènes en quelques jours seulement ;
 - même si un effluent usé utilisé pour l'irrigation contient 1000 C.F./100 ml, c'est faible par rapport aux concentrations rencontrées dans le milieu (une étude de l'O.M.S. et des Nations Unies a montré que 45% des rivières étudiées avaient des concentrations > 1000 C.F. /100 ml). Par ailleurs on peut comparer ces normes à celles appliquées aux eaux de baignade: pour l'OMS : < 1000 C.F./100 ml et pour la CEE < 2000 C.F. /100 ml ; et
 - les risques majeurs sont de loin plus importants pour les Helminthes.

Pour la première fois, des directives prennent en considération les maladies parasitaires. Beaucoup de pays considèrent ces directives comme une base sérieuse de mise en place d'une réglementation de la REU.

L'approche épidémiologique et l'approche « risque zéro » diffèrent par le niveau de risque qu'on accepte d'assumer, compte tenu du niveau économique et de la situation sociale du pays. L'approche épidémiologique se traduit par un niveau de traitement moins poussé et donc des investissements moins élevés que l'approche « risque zéro ».

2.2 Normes utilisées à l'étranger

De nombreux pays ont élaboré une réglementation de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture (voir Tableau 5 et [Annexe 6.2](#)). Généralement, les pays les plus riches ont adopté le principe du « risque zéro ».

Ces règlements ne sont pas définitifs et des révisions régulières et progressives peuvent être appliquées pour tenir compte de l'amélioration du niveau moyen de l'hygiène. Des pays comme Israël ou Chypre ont revu leur réglementation pour la rendre plus stricte. C'est d'ailleurs la tendance générale ; l'OMS revoit actuellement sa directive et la contrainte de 1 000 CF/100 ml sera probablement revue à la baisse.

La situation de la plupart des pays de la zone méditerranéenne a été analysée dans le cadre du projet européen Avicenne (1997). En février 2000, un groupe de scientifiques réunis à Barcelone, sur l'invitation de l'Association AGBAR, ont élaboré une proposition de directives méditerranéennes pour la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. Il est apparu que l'élaboration de cette directive devait s'inscrire dans le cadre d'une réflexion plus large sur la gestion des ressources globales en eau.

Le groupe de travail accompagne la proposition de directives (Tableau 6) de quelques considérations :

- intéresser d'autres institutions internationales (OMS, UE,...) à la discussion,
- établir des directives spécifiques à l'environnement méditerranéen plutôt qu'europpéen ;
- les propositions doivent tenir compte du niveau sanitaire des pays méditerranéens ;
- réaliser un inventaire des lois actuellement utilisées pays par pays ;
- établir des comités locaux pour étudier l'application de la réglementation méditerranéenne ;
- considérer le relation réutilisation-environnement ;
- choisir le type de station d'épuration et la dimensionner en tenant compte des conditions locales ;
- étudier les impacts sur l'environnement et la santé publique, les conditions de contrôle et d'échantillonnage, les restrictions à l'usage, la recharge de nappe et
- améliorer l'information du public.

Les propositions du Tableau 6 sont des recommandations minimales que chaque pays pourrait adapter à ses conditions socio-économiques. Elles devraient, dans une étape ultérieure, être présentées aux instances nationales de l'ensemble des pays méditerranéens.

TABEAU 5: CRITERE DE QUALITE POUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN VUE DE L'IRRIGATION NON RESTRICTIVE

AGENT OR STATE	TYPE	QUALITÉ REQUISE EN TERMES SANTÉ PUBLIQUE
US.EPA (1992)	Directives	Ne pas dépasser 14 CF/100 ml dans aucun échantillon, ce qui signifie pratiquement non détecté. Un traitement secondaire doit être utilisé suivi d'une filtration (avec addition de coagulants et/ou polymères) et d'une désinfection.
Arizona	Règlements	Ne pas dépasser 2.2 FC100 ml (valeur médiane) et 25 CF/100 ml (échantillon individuel).
CA /T-22 (1978)	Règlements	Ne pas dépasser 2.2 CT /100 ml. Ne pas dépasser non plus 800 CF/100 ml dans aucun échantillon. Un traitement secondaire est requis suivi d'une filtration et d'une désinfection.
Colorado	Directives	Ne pas dépasser 2.2 CT/100 ml (valeur médiane). L'effluent utilisé doit être oxydé, coagulé, clarifié, filtré et désinfecté.
Florida	Règlements	Ne pas dépasse 25 CF/100 ml sur une période de 30 jours dans 75% des échantillons. Un traitement secondaire avec filtration et haut niveau de désinfection est requis. Aussi, une concentration de 20 mg/l en DCO (moyenne annuelle) et 5 mg/l en TSS (échantillon individuel) dans l'effluent est requise.
Georgia	Directives	Ne pas dépasser 10.000 CF/100 ml sur une période de 30 jours et ne pas excéder 40.000 CF/100 ml dans plus de 5% des échantillons.
Idaho	Règlements	Ne pas dépasser 2.2 CT/100 ml (valeur médiane). L'effluent utilisé doit être oxydé, coagulé, clarifié et désinfecté.
Illinois	Règlements	Le traitement minimum requis est deux bassins de stabilisation suivi d'une filtration sur sable et d'une désinfection ou d'un traitement secondaire mécanique avec désinfection.
Indiana	Règlements	Ne pas dépasser 1000 CF/100 ml (valeur médiane) et 2.000 CF100 ml (échantillon individuel). Une désinfection est requise si ces limites ne sont pas respectées.
N. Carolina	Règlements	Ne pas dépasser 1000 CF/100 ml (moyenne log) pendant une période de 30 jours, ni excéder 2.000 CF/100 ml dans plus de 20% d'échantillons, pour les fruits et légumes irrigués.

AGENT OR STATE	TYPE	QUALITÉ REQUISE EN TERMES SANTÉ PUBLIQUE
Nebraska	Directives	Ne pas dépasser 10.000 CT/100 ml (moyenne géométrique) ou 2.000 CF/100 ml (également en moyenne géométrique). Aussi ne pas avoir plus de 20% d'échantillons excédant 20.000 CT/100 ml ou 4.000 CF/100 ml.
New Mexico	Directives	Ne pas dépasser 1.000 CF/100 ml. Un traitement adéquat avec désinfection est requis.
Texas	Règlements	Ne pas dépasser 75 CF/100 ml. Un traitement minimum est requis afin d'obtenir une DBO de 30 mg/l et 10 mg/l avec respectivement le lagunage et une autre système.
Utah	Règlements	Ne pas dépasser 2.000 CT/100 ml et 200 CF/100 ml (moyenne sur 30 jours). Au minimum, un traitement secondaire est requis avec des concentration en DBO et TSS de 25 mg/l (moyenne sur 30 jours).
Washington	Directives	Ne pas dépasser 2.2 CT/100 ml (moyenne) et 24 CT/100 ml (échantillon individuel). Le traitement minimum requis est un traitement secondaire suivi d'une filtration.
West Virginia	Règlements	Au minimum, un traitement secondaire suivi d'une désinfection et une concentration en DBO et TSS de 30 mg/l.
Wyoming	Règlements	Ne pas dépasser 200 CF/100 ml. La DBO dans les effluents ne doit pas dépasser 10 mg/l (valeur journalière).
Australia	NSW Directives	Les Coliformes thermotolérants ne doivent pas dépasser 10/100 ml (valeur médiane). Au minimum, un traitement secondaire est requis plus une filtration donnant moins de 2 NTU dans l'effluent.
Canada Alberta	Règlements	Ne pas dépasser 1.000 CT/100 ml et 200 CF/100 ml (moyenne géométrique) dans plus de 20% des échantillons. Aussi, ne pas dépasser 2.400 CT/100 ml aucun jour pour l'irrigation de légumes.
Chypre (1997)	Réglementation provisoire	Ne pas dépasser 50 CF/100 ml et 100 CF/100 ml dans 80% des échantillons par mois et comme valeur maximale respectivement. Aussi, les nématodes intestinaux doivent être <1 oeuf/l. Un traitement tertiaire est requis, suivi d'une désinfection.
France (1994)	Directives	Même directive que l'OMS complétée de règles supplémentaires relatives à la qualité chimique et à la fréquence des contrôles de la qualité des effluents.
Israël (1978)	Règlements	Ne pas dépasser 2.2 et 12 CT/100 ml dans 50% et 80% des échantillons respectivement. Est requis un traitement secondaire ou équivalent (tel que le stockage) suivi d'une désinfection.
Japon	Critères	Ne pas dépasser 50 CT/100 ml et une concentration en DBO de 20 mg/l.

AGENT OR STATE	TYPE	QUALITÉ REQUISE EN TERMES SANTÉ PUBLIQUE
Jordanie	Règlements	Ne pas dépasser 200 CT/100 ml et <1 œuf de nématode par litre pour l'irrigation d'aires publics. Pour l'irrigation non restrictive, la norme de 1000 CF/100 ml est recommandée. Une concentration en DBO de 50 mg/l est recommandée pour l'irrigation de parcs et le recharge artificielle des nappes souterraines. La qualité d'eau requise est similaire à l'eau de baignade. Seul les arbres fruitiers et forestiers, et les fourrages peuvent être irrigués. La présence de chlore résiduel est nécessaire.
Kuwait	Critères	Ne pas dépasser 100 CT/100 ml. Le niveau de traitement doit pouvoir atteindre 10 mg/l en BDO et TSS. Irrigation de laitues et fraises interdites. En irrigation restrictive, ne pas dépasser 10.000 CT/100 ml.
Arabie Saoudite	Règlements	Ne pas dépasser 2.2 CT/100 ml. La concentration en DBO et TSS ne doit pas dépasser 10 mg/l. En irrigation restrictive, les effluents secondaires peuvent être utilisées pour l'irrigation de fourrage, grandes cultures, légume industriel et espaces verts.
Afrique Du Sud	Directives	La concentration doit être de 0.0 CF/100 ml. Le niveau de traitement requis est primaire, secondaire et tertiaire.
Oman		Irrigation restrictive : maximum 23CT/100 ml, moyenne de 2.2 CT/100 ml, irrigation d'espace verts autorisée, irrigation des cultures interdites.
Mexique	Règlements	En irrigation non restrictive, pour l'irrigation de crudités et fruits en contact avec le sol : <1.000 CT/100 ml.
Pérou	Règlements	Irrigation de cultures rampantes et à racine consommable crus interdite.
Tunisie	Règlements	Contrainte relative aux œufs de nématodes intestinaux: < 1 œuf/l. Irrigation de légumes consommés crus interdite, de même pour le pâturage direct sur parcelles irriguées avec des effluents. Peuvent être irrigués, les cultures industrielles, les grandes cultures, les fourrages, les arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion), les forêts. Introduction de règles relatives à la qualité chimique et à la fréquence des contrôles de la qualité des effluents.
Italie	Règlements	Ne pas dépasser 2 CF/100 ml pour l'irrigation de cultures consommées crues sinon 20 CF/100 ml ainsi que pour l'irrigation de pâturage.
(Sicile)	Directives	Ne pas dépasser 3.000 CT/100 ml et 1.000 CF/100 ml. Contrainte relative aux œufs de nématodes intestinaux: < 1 œuf/l.

Source : (adapté de Angelakis, 1997 et d'autres sources)

TABLEAU 6:PROPOSITION DE CRITERES MICROBIOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES MINIMAUX POUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES.

Utilisation d'eau usée épurée		Critère de qualité				Autres critères
		Microbiologique		Physico-chimique		
		Œufs de Nématode	Escherichia coli	Solides en suspension	Turbidité	
1	Utilisation résidentielle: Irrigation de jardins privés, chasse de toilette, conditionnement d'air, lavage de voiture	< 1 oeuf/10 L	0 cfu/100 mL	<10mg/L	<2 NTU	
2	Utilisation urbaine: Irrigation de zones à entrée libre (parc, golf, terrain de sport,...) lavage des rues, combat contre les incendies, fontaines et pièces d'eau ornementales	< 1 œuf/ L	<200 cfu/100mL	<20mg/L	<5 NTU	
3	Irrigation de pelouse	< 1 œuf/ L	<200 cfu/100mL	<20mg/L	<5 NTU	<i>Legionella Pheumophila</i> 0cfu/100mL
4	Irrigation de légumes consommés crus. Irrigation par aspersion d'arbres fruitiers	< 1 œuf/ L	<200 cfu/100mL	<20mg/L	<5 NTU	
5	Irrigation de fourrage pour l'alimentation animale (production de lait ou de viande)	< 1 œuf/ L	<1.000 cfu/100mL	<35mg/L	Pas de limite établie	<i>Taenia saginata</i> and <i>Taenia solium</i> < 1 oeuf/L
6	Irrigation de culture pour a) conserverie; b) végétaux destinés à être consommés cuits ou arbres fruitiers (excepté irrigation par aspersion)	< 1 œuf/ L	<1.000 cfu/100mL	<35mg/L	Pas de limite établie	
7	Irrigation de cultures industrielles, fourrages, céréales et semences oléagineuses	< 1 œuf/ L	<10.000 cfu/100mL	<35mg/L	Pas de limite établie	
8	Irrigation de zones boisées, zones de production de bois industriel, ceintures vertes ou autres zones où le public n'est pas autorisé à entrer	< 1 œuf/ L	Pas de limite	<35mg/L	Pas de limite établie	
9	Refroidissement industriel, excepter l'industrie agro-alimentaire.	Pas de limite établie	<10.000 cfu/100mL	<35mg/L	Pas de limite établie	<i>Legionella Pheumophila</i> 0cfu/100mL

Utilisation d'eau usée épurée		Critère de qualité				Autres critères
		Microbiologique		Physico-chimique		
		Œufs de Nématode	Eschira Coli	Solides en Suspension	Turbidité	
10	Bassin, pièce d'eau et eau courante ornementale, où le public est en contact (sauf baignade)	1 œuf/L	<200 cfu/100ml	<35mg/L	Pas de limite établie	
11	Bassin, pièce d'eau et eau courante ornementale, où le public n'est pas en contact	Pas de limite établie	Pas de limite établie	<35mg/L	Pas de limite établie	
12	Aquaculture (biomasse animale ou végétale)	< 1 œuf/ L	<1.000 cfu/100mL	<35mg/L	Pas de limite établie	
13	Recharge de la nappe: percolation localisée à travers le sol.	< 1 œuf/ L	<1.000 cfu/100mL	<35mg/L	Pas de limite établie	Azote Total <50 mg/L
14	Recharge de la nappe: injection directe	< 1 œuf/ 10L	0 cfu/100mL	<10mg/L	<2 NTU	Azote Total <15 mg/L

Source : Information de l'Association AGBAR

Notes:

- Cfu: Colony Forming Units
- Les nématodes intestinaux incluent les familles suivantes: *Strongyloides*, *Trichostrongylus*, *Toxocara*, *Enterobius*, and *Capillaria*
- Les eaux épurées peuvent être utilisées à l'intérieure de maisons individuelles, à l'exception d'une consommation humaine. Compte tenu du risque lié à ce type de réutilisation, les autorités doivent prendre des précautions spéciales et assurer un contrôle stricte lorsque ce type de réutilisation est autorisé.
- Les eaux usées épurées ne peuvent être utilisée au refroidissement industriel dans les industries agro-alimentaires
- Pour une utilisation sous 10 et 11, les eaux usées épurées ne doivent pas émettre de mauvaises odeurs
- Les eaux usées épurées ne peuvent être utilisés pour la production de coquillages
- Lorsque les eaux usées épurées sont utilisées pour la recharge de nappe souterrains (percolation localisée à travers le sol), le sol doit avoir une profondeur de 1,5 m au minimum

2.3 Directives européennes relatives à la valorisation agricole des boues d'épuration

L'épuration des eaux résiduaires produit des boues que l'on peut utiliser comme amendement en agriculture. Bien souvent, la gestion des boues constitue un réel problème et est souvent négligée par la plupart des gestionnaires des stations d'épuration. Ces boues constituent un amendement agricole intéressant qui améliore la fertilité des sols agricoles; elles assurent la structure du sol, la capacité de rétention en eau, le stockage et la libération d'éléments nutritifs et la vie microbienne. Toutefois, les boues doivent être utilisées avec précaution car elles concentrent, par sédimentation, les œufs de parasites et les métaux lourds. Une gestion rigoureuse permet leur utilisation sans danger pour les personnes et l'environnement.

Pour ce qui est des éléments traces, la directive 86/278/CEE de l'U.E. a proposé une directive pour la protection de l'environnement, et en particulier des sols, lorsque la boue résiduaire est utilisée en agriculture. (Tableau 7).

TABLEAU 7: LES DIRECTIVES UE POUR L'UTILISATION DES BOUES RESIDUAIRES EN AGRICULTURE.

Elément	I (mg/kg de matière sèche)	II (mg/kg de matière sèche)	III (Kg/ ha/an)
Cadmium (Cd)	20 to 40	3	0,15
Cuivre (Cu)	1000 à 1750	140	12
Nickel (Ni)	300 à 400	75	3
Plomb (Pb)	750 à 1200	300	15
Zinc (Zn)	2500 à 4000	300	30
Mercuré (Hg)	16 à 25	1,5	0,1
Chrome (Cr)	-	-	-

Source : directive 86/278/CEE de l'U.E

(I) Les valeurs limites de concentration en éléments trace dans les boues destinées à l'épandage en agriculture. Lorsque cette concentration est dépassée, l'utilisation en agriculture des boues est interdite.

(II) Les concentrations en éléments trace admissibles dans les sols sur lesquels les boues sont épandues. L'utilisation des boues doit être interdite lorsque les concentrations d'un ou plusieurs métaux lourds dans le sol dépassent cette limite, et on doit prendre les mesures nécessaires pour s'assurer que cette valeur limite n'est pas dépassée après l'utilisation des boues.

(III) Les quantités annuelles d'éléments trace pouvant être introduites dans les terres cultivées sur base d'une moyenne de 10 ans.

Les métaux lourds et les œufs de parasites se concentrent dans les boues par sédimentation dans le bassin anaérobie. Par conséquent, les boues doivent être traitées avant d'être épandues pour enlever les parasites. Ce traitement peut être un simple séchage des boues sur lits de séchage. Des essais ont montré que les œufs de parasites disparaissaient complètement des boues après huit mois de séjour dans les lits de séchage. Ce séchage n'a aucun effet sur la présence de métaux lourds.

Les teneurs en métaux lourds des boues d'épuration de la station pilote de Ouarzazate (Tableau 8) sont inférieures aux valeurs limites de la colonne I du Tableau SEQARABIC. Ces teneurs sont aussi inférieures aux valeurs limites de la colonne II, sauf en ce qui concerne le zinc.

TABLEAU 8:TENEURS EN ELEMENTS TRACES DES BOUES RESIDUAIRES

Eléments	Boues de la station pilote de Ouarzazate (mg/kg MS)	Directive européenne	
		Valeur guide	Valeur impérative
Cd	2,62 – 2,6	20	40
Cu	127,4 – 93,8	1000	1750
Ni	26,7 – 33,4	300	400
Pb	149,5 – 172,1	750	1200
Zn	157,0 – 1743,1	2500	4000
Hg	0,93	16	25
Cr	50,0	-	
Co	13,3 – 17,4	-	
Mn	195,0 – 224,9	-	

Sources : Xanthoulis, 1996 et tableau 7.

Pour la valorisation agricole des boues d'épuration, il faut prendre les précautions suivantes :

- Les conditions de l'épandage doivent correspondre aux besoins des cultures ;
- Le pH du sol doit être supérieur à 6 ;
- Tenir un registre doit être tenu dans lequel sont inscrites les quantités de boues produites, les quantités livrées à l'agriculteur, les résultats des analyses ;
- Analyser les boues produites tous les six mois (matières sèches, matières organiques, pH, N, P, Cu, Cd, Ni, Pb, Zn) ; et
- Ne pas épandre des boues sur des cultures consommées à l'état cru. Un délai de six mois entre l'épandage des boues et la culture est recommandé. Les boues ne pourront donc être épandues qu'une année sur trois lorsque le sol est laissé en jachère.

2.4 Situation au Maroc

2.4.1 Loi 10-95

En 1995, le Maroc s'est doté d'une loi sur l'eau visant à mettre en place une politique nationale de l'eau basée sur une vision prospective qui tient compte de l'évolution des ressources et des besoins nationaux en eau. L'ancienne législation n'était plus adaptée à l'organisation moderne du pays et ne répondait plus aux besoins de son développement socio-économique actuel (SDNAL, 1997). En matière d'eaux usées, cette loi fixe les normes de qualité auxquelles une eau doit satisfaire selon l'utilisation qui en est faite. Elle précise également l'interdiction des rejets sans autorisation et fixe une redevance. En matière de réutilisation, la loi stipule que l'administration définit les conditions d'utilisation des eaux usées et que toute utilisation est soumise à autorisation. Elle stipule aussi que tout utilisateur peut bénéficier du concours financier de l'état et d'une assistance technique si l'utilisation qu'il en fait est conformes aux conditions fixées par l'administration et a pour effet de réaliser des économies d'eau et de préserver les ressources en eau contre la pollution (article 57). La REU pour l'agriculture peut être interdite chaque fois que les eaux réutilisées ne respectent pas les normes techniques de qualité (article 84). Ces normes sont actuellement en préparation au niveau national par le Comité Normes et Standards (CNS).

Le SDNAL a aussi donné quelques recommandations pour valoriser les eaux usées (SDNAL, 1997). Ces recommandations font la distinction entre l'irrigation de terrains agricoles et l'irrigation d'espaces verts et prennent en compte :

- l'aspect organisationnel et foncier du périmètre ;
- les types de cultures et d'espaces verts ;
- les différents modes d'irrigation ;
- les personnes exposées au risques ;
- le degré de traitement de l'effluent.

Ces propositions sont calées sur la directive de l'OMS de 1989 (≤ 1000 CF/100ml et < 1 œuf/l).

2.4.2 Projet de norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Depuis 1994, date de sa création, le Comité Normes et Standards (CNS) relevant du Conseil National de l'Environnement, élabore les objectifs de qualité des milieux récepteurs (normes de qualité) et les limites générales et sectorielles de rejets (normes de rejets). Le CNS est composé des représentants de tous les départements ministériels concernés. Parmi les différentes normes proposées, figure un projet de norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation qui fixe les paramètres d'ordre bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques (Tableau 9).

TABLEAU 9 : : PROJET DE NORME DE QUALITE DES EAUX DESTINEES A L'IRRIGATION

	Paramètres	Valeurs limites
	BACTERIOLOGIQUES	
1	Coliformes fécaux	5000/100 ml *
2	Salmonelle	Absence dans 5 l
3	Vibrio Cholérique	Absence dans 450 ml
	PARASITOLOGIQUES	
4	Parasites pathogènes	Absence
5	Œufs, kystes de parasites	Absence
6	Larves d'Ankylostomidés	Absence
7	Fluococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence
	PHYSICO-CHIMIQUE	
8	Mercure Hg mg/l	0,001
9	Cadmium Cd mg/l	0,01
10	Arsenic As mg/l	0,1
11	Chrome total Cr mg/l	0,1
12	Plomb Pb mg/l	5
13	Cuivre Cu mg/l	0,2
14	Zinc Zn mg/l	2
15	Sélénium Se mg/l	0,02
16	Fluor F mg.l	1
17	Cyanures Cn mg/l	1
18	Phénols mg/l	3
19	Aluminium Al mg/l	5
20	Berylium Be mg/l	0,1
21	Cobalt Co mg/l	0,05
22	Fer Fe mg/l	5
23	Lithium mg/l	2,5
24	Manganèse Mn mg/l	0,2
25	Molibdène Mo mg/l	0,01
26	Nickel Ni mg/l	0,2
27	Vanadium V mg/l	0,1

* 1.000 CF/100 ml pour des cultures consommées crues

Commentaires

- Ce projet d'arrêté ne s'applique pas seulement à l'irrigation avec des eaux usées mais à tout type d'eau d'irrigation.
- Ligne 1 : lorsque le produit de la récolte est consommé cuit ou transformé, la limite de 5000 CF/100 ml ne se justifie pas.
- Lignes 2 et 3 : la détermination de la concentration en coliformes fécaux est suffisante dans la logique ou ce germe banal indique la contamination fécale. On évite ainsi les dénombrements d'autres micro-organismes pathogènes qui demandent des analyses difficiles pour des résultats aléatoires. Les lignes 2 et 3 de cette proposition d'arrêté pourraient être retirées.
- Lignes 4, 6 et 7 : les œufs de nématodes sont le risque majeur (longue durée de vie, émission abondante, dose infectieuse minime) et constituent donc l'indicateur de contamination parasitologique le plus approprié. Afin d'éviter toute détermination ou analyse superflue, les lignes 4, 6 et 7 pourraient être retirées de l'arrêté.
- Les valeurs limites reprises dans la proposition d'arrêté correspondent en fait aux valeurs proposées par Ayers R.S. and Westcot D.W. (1985) et

correspondent à une utilisation à long terme. Ce tableau pourraient être complété par une seconde colonne reprenant les valeurs pour une utilisation à court terme (voir tableau 28, Section 6.1.3).

2.4.3 Procédure d'établissement de normes

L'objectif des normes pour la réutilisation des eaux usées est de protéger l'environnement et la santé publique tout en respectant le principe de la technologie la mieux adaptée au meilleur coût. Cette procédure s'inspire et est adaptée de la procédure présentée par le projet PREM (2000) pour les rejets liquides des tanneries. Les étapes nécessaires pour établir des normes de réutilisation des eaux usées sont :

1. Evaluation des quantités d'eaux usées produites et disponibles pour la REU ;
2. Sélection des polluants à contrôler pour protéger la santé publique et l'environnement ;
3. Evaluation de l'impact de la réutilisation sur la santé et l'environnement ;
4. Evaluation des technologies de traitement des eaux usées avant réutilisation ;
5. Evaluation des coûts des technologies de traitement des eaux usées ;
6. Etablissement des normes.

1. Evaluation des quantités d'eaux usées produites et disponibles pour la REU

Comme nous l'avons déjà signalé en 3.1.3., il est actuellement difficile d'estimer le volume d'eaux usées recyclées en agriculture au Maroc. De 1970 à 1994, ces volumes ont évolué de 129 à 470 Millions de m³ par an. Le potentiel d'eau usée est estimé à 900 Million de m³ en 2020, soit environ 5% des volumes d'eau mobilisables.

Du point de vue qualitatif, une typologie des eaux usées urbaines au Maroc a été réalisée pour le compte de l'ONEP (1998). Les résultats de cette étude donne une idée précise de la qualité des eaux usées au Maroc, de l'évolution des ratios et du taux de restitution, en fonction de la taille du centre, sont repris au tableau 10.

TABLEAU 10: TYPOLOGIE DES EAUX USEES AU MAROC

	Petits centres à (Moins de 20.000 habitants)	Centres moyens (entre 20.000 et 1000.000 habitants)	Grandes villes (plus de 100.000 Habitants)	Moyenne nationale
DBO ₅ (mg/L)	400	350	300	350
DCO (mg/l)	1000	950	850	900
MES (mg/l)	500	400	300	400
Taux de restitution (%)	50%	75%	80%	65%
Dotation x Taux de restitution (l/hab.j)	40	70	80	60

Source : ONEP, 1998

Plus la ville est grande, plus la concentration de pollution (DBO₅, DCO, MES) concentration diminue ; en effet les grandes villes utilisent une plus grande quantité d'eau utilisée d'où une dilution plus forte.

Le taux de restitution augmente en fonction de la taille du centre et est globalement plus faible que le taux de restitution utilisé dans le cadre du SDNAL (80%).

Il n'y a pas de données analogues pour les paramètres microbiologiques. A titre indicatif, on peut retenir pour les eaux usées domestiques, les domaines de concentration du tableau 11.

Par ailleurs, l'efficacité de l'épuration dépend du système de traitement utilisé (tableau 12).

TABLEAU 11 : CHARGES BACTERIENNES ET PARASITAIRES USUELLES DANS LES EAUX USEES DOMESTIQUES

Paramètres	Eaux concentrées	Domaine habituel	Eaux diluées
Coliformes Totaux nb/100 ml	$\geq 10^8$	$10^7 - 10^8$	$\leq 10^7$
Coliformes Fécaux nb/100 ml	$\geq 10^7$	$10^6 - 10^7$	$\leq 10^6$
Streptocoques Fécaux nb/100 ml	$\geq 10^6$	$10^5 - 10^6$	$\leq 10^5$
Œufs d'Helminthes nb/l*	$\geq 10^3$	$10^2 - 10^3$	$\leq 10^2$

*Les eaux usées peuvent être totalement dépourvues d'œufs de parasites : cas habituel en Europe et aux Etats-Unis par exemple
source : Metcalf and Eddy, 1993

TABLEAU 12: PERFORMANCES DE DIFFERENTS SYSTEMES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Système d'épuration	Décantation primaire	Boues activées ⁴	Lits bactériens ⁴	Bassins de stabilisation ¹	Désinfection	Bassin de stockage ³
DBO ₅	25%-35%	65%-97%	80%-85%	50%-80%		
DCO	25%-35%	60%-92%	75%-80%	50%-75%		
MES	50%-65%	70%-95%	80%-90%	25%-60%		
NK	55-60 mg/l	10%-90%	Variable	40%-50%		
PT	12-15 mg/l	<20%-30%	Faible	40%-50%		
Bactéries ²	0 – 1 log	0 – 2 log	0 – 2 log	1 – 6 log ⁵	2 – 6 log ⁵	1 – 6 log ⁵
Helminthes ²	0 – 2 log	0 – 2 log	0 – 2 log	1 – 3 log ⁵	0 – 1 log	1 – 3 log ⁵

Source : SDNAL

1 source : Ceremher, 1994, performances dépendent du nombre de bassins et du temps de séjour.

2 Source : Mara and Cairncross, 1989

3 performances dépendent du temps de séjour

4 Inclus, la sédimentation secondaire

5 Avec un bon dimensionnement, les directives OMS peuvent être atteintes

2. Sélection des polluants à contrôler pour protéger la santé publique et l'environnement

La recherche des pathogènes dans les effluents bruts et traités demande des techniques fastidieuses et complexes pour des résultats aléatoires. C'est la raison pour laquelle, on préfère dénombrer les coliformes fécaux, faciles à identifier. Par

ailleurs, à cause de leur durée de survie très longue, d'une émission abondante et des doses infectieuses minimales, les parasites intestinaux constituent un risque majeur lors de la réutilisation des eaux usées. Pour cette raison, la concentration en œufs d'Helminthes constitue le deuxième paramètre microbiologique à considérer. En résumé, les paramètres à identifier pour protéger la santé publique et l'environnement sont :

- les coliformes fécaux ; et
- les œufs d'Helminthes.

3. *Evaluation de l'impact de la réutilisation sur la santé et l'environnement*

Plusieurs projets pilotes ont déjà permis d'évaluer de façon précise l'impact de la réutilisation des eaux usées sur la santé et l'environnement. **La section 6.2.** présente la synthèse des résultats de ces projets.

4. *Evaluation des technologies de traitement des eaux usées avant réutilisation*

Le Tableau SEQARABIC montre que les traitements primaires et secondaires conventionnels (boues activées, lits bactériens) ne peuvent produire des effluents conformes aux directives OMS pour la qualité bactériologique et parasitologique. Le lagunage est la méthode de traitement la mieux adaptée pour la réutilisation des eaux épurées sous les climats chauds. Les résultats du projet pilote de Ouarzazate ont montré que des bassins anaérobies, facultatifs et maturations avec un temps de séjour total de 25 jours sont suffisants pour atteindre les normes des directives de l'OMS (≤ 1000 CF/100 ml et < 1 œuf/L). En prolongeant la filière du lagunage par un bassin de maturation supplémentaire ou par une désinfection, on peut atteindre la future norme OMS (200 CF/100 ml) .

5. *Etablissement des normes*

Déjà en 1994, lors de sa huitième session, le Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat insistait sur l'établissement de normes et réglementation en ces termes :

« Il est nécessaire de procéder, préalablement à toute réutilisation contrôlée, à l'établissement de normes marocaines sur la base de données accumulées à partir des expérimentations pilotes et en s'inspirant des expériences des autres pays ainsi que des recommandations et directives des organisations internationales... »

La question se pose maintenant en ces termes : comment, dans la situation marocaine, élaborer des normes de réutilisation des eaux usées en agriculture ?

La démarche la plus logique consiste à s'inspirer des normes applicables à la zone méditerranéenne, discutées à l'échelle internationale (**voir Section 2.2. et Tableau 6SEQARABIC**) De ces propositions ne retenons que les aspects microbiologiques qui sont les plus pertinents dans la situation marocaine, compte tenu des objectifs de la réutilisation et du système de traitement préconisé. Cette proposition tient compte de la tendance actuelle plus restrictive de la réglementation internationale qui réduit la concentration en coliformes fécaux de 1 000 CF/100 ml à 200 CF/100 ml. Il n'y a pas de modification en ce qui concerne les œufs d'Helminthes (tableau 13).

Pour une utilisation récréative ou ornementale dans des bassins, pièces d'eau et eau courante, les eaux usées épurées ne doivent pas émettre de mauvaises odeurs.

Le traitement supplémentaire à prévoir pour passer de la directive actuelle de l'OMS (1000 CF/100ml) à cette proposition est un bassin de maturation supplémentaire ou une désinfection par chloration.

TABEAU 13: PROPOSITION DE CRITERES MICROBIOLOGIQUES MINIMAUX POUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

Utilisation d'eau usée épurée	Œufs d'Helminthes	Coliformes Fécaux/100 ml	Traitement requis
Utilisation urbaine: Irrigation de zones à entrée libre (parc, golf, terrain de sport,...)	< 1 œuf/ L	<200	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage avec temps de séjour élevé
Irrigation de pelouse	< 1 œuf/ L	<200	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage avec temps de séjour élevé
Irrigation de légumes consommés crus. Irrigation par aspersion d'arbres fruitiers	< 1 œuf/ L	<200	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage avec temps de séjour élevé
Irrigation de fourrage pour l'alimentation animale (production de lait ou de viande)	< 1 œuf/ L	<1 000	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage
Irrigation de culture pour a) conserverie; b) végétaux destinés à être consommés cuits ou arbres fruitiers (excepté irrigation par aspersion)	< 1 œuf/ L	<1 000	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage
Irrigation de cultures industrielles, fourrages, céréales et semences oléagineuses	< 1 œuf/ L	<10 000	Traitement secondaire ou lagunage
Irrigation de zones boisées, zones de production de bois industriel, ceintures vertes ou autres zones où le public n'est pas autorisé à entrer	< 1 œuf/ L	Pas de limite	Traitement secondaire ou lagunage
Refroidissement industriel, sauf l'industrie agro-alimentaire.	Pas de limite établie	<10.000	Traitement secondaire ou lagunage
Bassins, pièces d'eau et eau courante pour utilisation récréative où le public est en contact (sauf baignade)	< 1 œuf/ L	<200	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage avec temps de séjour élevé
Utilisation d'eau usée épurée	Œufs d'Helminthes	Coliformes Fécaux/100 ml	Traitement requis
Bassin, pièce d'eau et eau courante ornementale, où le public n'est pas en contact	Pas de limite établie	Pas de limite établie	Traitement primaire
Recharge de la nappe: percolation localisée à travers le sol (percolation minimum du sol de 1,5m).	< 1 œuf/ L	<1 000	Traitement secondaire et désinfection ou lagunage

Source : adapté des informations de la Directive Espagnole en préparation

3 LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES

Les eaux usées contiennent des constituants indésirables tels que les sels, les éléments traces, les composés organiques, des pathogènes, etc. L'aptitude des eaux usées pour l'irrigation est principalement liée à ses effets sur le sol, les cultures, l'environnement et la santé humaine. La composition des eaux usées nécessite une attention particulière et un contrôle constant afin de garantir une utilisation saine en irrigation. Afin d'atteindre cet objectif, certaines pratiques doivent être adoptées. Elles incluent le traitement des eaux usées, la minimisation de l'exposition humaine, et l'application de conditions d'hygiène définies dans le cadre d'un système de contrôle intégré.

L'irrigation avec des eaux usées est une pratique spéciale et la plus grande préoccupation est d'ordre environnemental et sanitaire. Toutes les techniques et moyens possibles utilisés doivent concourir à réduire le risque potentiel. Pour contrôler le risque sanitaire liée à la REU, on doit contrôler la qualité microbiologique de l'eau. Toutefois, le coût pour obtenir une élimination complète des pathogènes peut être si élevé qu'il est nécessaire de prendre d'autres mesures (choix de la culture, choix du système d'irrigation, mesures de protection) afin de réduire le risque à un niveau acceptable. Cependant, ces mesures peuvent ne pas suffire, par exemple, lors du transport de l'eau jusqu'à la parcelle, une utilisation accidentelle, etc.

La création de la directive OMS a permis de fournir une base sur laquelle a pu se développer la REU dans de bonnes conditions sanitaires. Toutefois, de nombreux autres facteurs qui ne peuvent pas être transposés dans un standard de qualité affectent les risques sanitaires. Ces facteurs, rassemblés sous forme de règles à suivre vont constituer un code de bonne pratique qui devra être suivi avec la même rigueur que les lois ou directives. Le code de bonne pratique, tout comme les standards de qualité, doit être développé et adapté à chaque pays en tenant compte des conditions locales.

Deux questions sont à poser pour n'importe quel système d'irrigation utilisant les eaux usées :

- Quelles cultures peuvent être irriguées (choisir certaines cultures et écarter d'autres) ?
- Comment irriguer ces cultures (recommandation de la méthode d'irrigation appropriée et les précautions nécessaires) ?

Par ailleurs, l'excès d'azote par rapport aux besoins des cultures peut entraîner une pollution des nappes si des mesures correctives adéquates ne sont pas appliquées.

3.1 Sélection des cultures

Les eaux épurées qui répondent à la qualité A de la directive de l'OMS peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures. si cette qualité n'est pas atteinte, il est encore possible d'irriguer des cultures sélectionnées, sans risque pour le

consommateur et l'agriculteur, pour autant que certaines mesures soient appliquées (voir tableau 4, section 2.1).

Voici une classification des cultures utiles, en risques décroissants de transmission de pathogènes, si celles-ci sont irriguées avec un effluent traité (FAO, 1992-a). Quelle que soit la méthode d'irrigation utilisée, les cultures en haut de la liste présentent le plus grand risque :

1. légumes mangés crus ;
2. légumes mangés cuits ;
3. plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres ;
4. arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés ;
5. pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public ;
6. arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés ;
7. pelouses et autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité ;
8. cultures fourragères ;
9. arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires ; et
10. cultures industrielles ou grandes cultures.

Il est évident que cette restriction de cultures est une stratégie pour protéger le consommateur. Cependant, les agriculteurs et leur famille restent à haut risque, puisqu'ils sont toujours exposés aux pathogènes des eaux usées, par le contact avec le sol et/ou la culture.

L'adoption de restriction des cultures comme moyen de protection de la santé et de l'environnement dans des projets de réutilisation demande un cadre ou un contexte institutionnel très solide et la capacité de vérifier si les utilisateurs respectent la réglementation. Il est évident que la restriction des cultures implique de grands risques en cas d'absence de contrôle et d'autorisation légale. L'agriculteur doit être informé du bien fondé de la restriction des cultures et des pratiques agricoles qui tiennent compte de la qualité de l'effluent.

3.2 Base de la sélection d'une méthode d'irrigation

La méthode d'irrigation avec de « l'eau normale », est choisie en fonction de la qualité de l'eau, de la culture à irriguer, le capital disponible, le type de sol et l'expérience de l'irriguant.

L'utilisation d'eaux usées implique d'autres aspects et d'autres préoccupations tels que des éléments microbiologiques et toxiques et le problème des matières en suspension. Il est possible de réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation par la sélection des méthodes d'irrigation appropriées.

Quand les eaux usées sont utilisées comme source d'irrigation, il faut mettre en oeuvre toutes les mesures et moyens pour protéger les agriculteurs et éviter la contamination pathogénique des plantes irriguées à travers le contact des eaux usées.

Le choix d'une méthode d'irrigation est défini par les facteurs suivants :

3.2.1 Diminuer le contact avec les eaux usées

Il est important de minimiser les risques sanitaires associés avec un contact direct ou indirect avec les eaux usées qui contiennent des pathogènes pendant le processus d'irrigation.

Trois types d'irrigation (border, bassin et flood) impliquent le recouvrement complet de la surface du sol avec l'effluent traité et donc la contamination des cultures qui poussent sur le sol ou dans le sol. Avec ces méthodes, les fermiers ou les agriculteurs sont en contact avec l'effluent. Donc border et bassin d'irrigation, ne sont acceptés que pour la production industrielle de fourrages et de céréales à condition que les ouvriers évitent le contact direct avec l'eau pendant l'irrigation.

Par contre, l'irrigation en sillon, ne mouille pas la totalité de la surface du sol. Cette méthode peut réduire la contamination des cultures puisque les plantes poussent sur les butes. Mais une protection sanitaire complète ne peut pas être garantie. La contamination des ouvriers agricoles est, en moyenne, élevée. Si l'effluent est transporté jusque dans les sillons par tuyaux avec fermetures, le risque de contamination est minimisé.

Les eaux usées qui ont subi un traitement secondaire produisent un effluent qui peut être distribué par aspersion pour autant que l'effluent ne soit pas trop salin. Le système d'aspersion devrait être utilisé avec certaines précautions pour éviter un contact humain direct avec les gouttes d'eau. Il est préférable d'irriguer avec les eaux usées des cultures industrielles et des cultures consommées cuites.

L'irrigation localisée surtout quand la surface du sol est recouverte de bâches en plastique ou d'autres couvertures, est une utilisation plus efficace des effluents et procure le maximum de protection sanitaire aux ouvriers agricoles et aux consommateurs. Les systèmes d'irrigation goutte à goutte nécessitent une haute qualité de l'effluent pour empêcher le colmatage des émetteurs par une eau qui est libérée lentement dans le sol.

Quelques problèmes peuvent survenir si l'effluent contient une grande quantité de solides en suspension. Ceux-ci entravent l'écoulement dans les canaux de transport, les tuyaux et les raccords. L'utilisation d'un effluent de traitement primaire réduira ces problèmes. Pour éviter la stagnation de l'effluent et la formation de mares, il est nécessaire de niveler la terre tout en gardant une pente adéquate.

3.2.2 Fonctionnement et entretien

Quand on irrigue avec des eaux usées, il faut faire plus attention au fonctionnement et à l'entretien en raison des caractéristiques propres à ce type d'eau.

Pour assurer un bon fonctionnement et une gestion efficace d'un système d'irrigation qui utilise les eaux usées, il faut intégrer dans le système certains filtres et valves spéciales. Il est encore plus important d'effectuer régulièrement un contrôle et une vérification de la performance de ces composants; ainsi que du fonctionnement de

tout le système. Des rapports quotidiens sur le fonctionnement et l'entretien du réseau sont nécessaires pour parer au plus vite à une défaillance ou rupture.

3.2.3 Problèmes de colmatage

Un des problèmes les plus sérieux associé avec l'utilisation d'eaux usées dans des réseaux modernes d'irrigation est le colmatage. Les trois composants de l'eau (physique, chimique et biologique) peuvent contribuer à ce colmatage que ce soit dans les systèmes d'irrigation, goutte à goutte par aspersion ou bien sur la surface de la terre.

3.3 Le problème de l'excès d'azote

La teneur en azote de l'eau épurée varie en fonction de l'origine des eaux usées brutes et du système d'épuration mais l'apport en azote des eaux épurées dépasse généralement les besoins des cultures. Par conséquent, la pollution des nappes par les nitrates est un risque potentiel important lorsqu'on irrigue avec les eaux usées. Le risque de percolation de l'azote étant élevé en sol irrigué, l'azote doit être appliqué en quantité adéquate au moment où la plante en a besoin. En dehors de ces périodes, il faut éviter d'apporter cet élément.

Afin de limiter l'excédent d'azote, les apports doivent être ajustés aux besoins des cultures et à l'apport par d'autres sources. Ces sources incluent l'azote du sol et l'antécédent cultural. Les bonnes pratiques agricoles incluent les actions suivantes :

- Analyser le sol lorsque c'est possible
- Utiliser l'eau épurée de façon raisonnée afin d'optimiser les apports d'azote (analyse des eaux épurées, gérer de façon précise les apports d'eau, appliquer les eaux usées uniformément sur la parcelle)
- Ne pas appliquer d'azote au delà des besoins des cultures

Sachant qu'une irrigation avec les eaux usées exclusivement apporte trop d'azote par rapport aux besoins de la plupart des cultures, il est recommandé d'alterner les sources d'eaux de richesse en N et d'origine différentes ou de procéder à un mélange avec l'eau de nappe.

3.4 Approche du contrôle intégré

La décision de la sélection d'un système d'irrigation sera principalement une décision financière à travers laquelle le risque sanitaire des différentes méthodes doit être pris en compte. Comme on l'a dit précédemment ([Section 2.1.5.](#)), la méthode d'irrigation est considérée comme une des mesures de contrôle et de lutte sanitaire tout comme le choix de la culture, le traitement des eaux usées et le contrôle de l'exposition humaine. Chacune de ces mesures interagira avec les autres. Ainsi, la décision du choix d'un système d'irrigation aura une influence sur le niveau requis de traitement des eaux usées, le contrôle de l'exposition humaine et la sélection des cultures possibles. En même temps, la technique d'irrigation « possible » dépendra de la sélection des cultures et le choix de la technique d'irrigation peut être limité si le traitement des eaux usées a été initié avant la décision de réutilisation des eaux usées.

En relation avec le contrôle de la transmission des affections, les quatre méthodes communes d'irrigation peuvent être caractérisées par leur avantage mais aussi par les mesures spéciales à prendre lorsque les eaux usées sont utilisées (tableau 14SEQARABIC).

TABLEAU 14: FACTEURS AFFECTANT LE CHOIX DE LA METHODE D'IRRIGATION ET LES MESURES A PRENDRE SI LES DIRECTIFS DE L'OMS NE SONT PAS RESPECTEES

Méthode d'irrigation	Facteur affectant le choix	Mesures spéciales pour la REU
Irrigation à la planche ou par bassin	Faible coût, Planage non requis	Protection complète pour les agriculteurs, les travailleurs et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage parfois requis	Protection pour les agriculteurs, parfois nécessaire pour les travailleurs et les consommateurs
Méthode d'irrigation	Facteur affectant le choix	Mesures spéciales pour la REU
Irrigation par aspersion	Efficienc e moyenne de l'eau, planage non requis	Certaines cultures de la catégorie B, a ne pas utiliser sur arbres fruitiers, distance minimum de 50 à 100 m des habitations et routes. Les eaux anaérobies ne peuvent être utilisées à cause des mauvaises odeurs
Irrigation localisées et souterraine	Coût élevé, efficacité élevée de l'eau, rendements plus élevés	Filtration pour éviter le colmatage

Source : FAO, 1992-a

Pour une eau qui ne respecte pas la directive OMS :

- a) l'irrigation par aspersion est limitée aux cultures industrielles et fourragères.
- b) L'irrigation par aspersion de pelouse ou d'aires à accès public non limité, doit se faire pendant la nuit même si l'eau épurée est conforme à la qualité A de la directive OMS.
- c) L'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en condition venteuse à cause du risque potentiel de propagation des pathogènes dans les aérosols
- d) Le mélange des eaux épurées avec des eaux conventionnelles pour atteindre la qualité requise, est recommandée. S'il est possible d'irriguer avec de l'eau conventionnelle mais qui n'est pas disponible en quantité suffisante, un mélange avec l'eau épurée produira une eau qui pourra être utilisée avec des effets minimum sur l'environnement, la production agricole et la santé.

CONCLUSION

Le SDNAL a identifié 70 centres sur l'ensemble du Maroc qui réutilisent des eaux usées brutes. Il est fort probable, vu le contexte climatique et social du pays, que cette liste n'est pas exhaustive et la réutilisation est sans doute plus généralisée qu'il n'y paraît dans la liste. La REU est pratiquée à travers tout le pays sur tout type de culture (fourrage, arboriculture, maraîchage, grandes cultures,...) sans aucune précaution sanitaire.

La réutilisation des eaux usées nécessite des normes de qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation. Ces normes doivent préciser la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux épurées afin de garantir la protection de la santé humaine et la préservation de l'environnement.

Les coliformes fécaux et œufs d'helminthes sont les deux paramètres microbiologiques principaux à suivre lorsque les eaux usées épurées d'origine domestique sont destinées à l'irrigation. Pour ce type d'eau, les paramètres physico-chimiques sont généralement à des concentrations plus faibles que les valeurs des normes internationales.

Le traitement des eaux usées est la principale mesure de lutte sanitaire permettant d'éliminer partiellement ou totalement les micro-organismes pathogènes. Il y a aussi d'autres barrières à la propagation de la contamination : mesures professionnelles, restrictions de cultures, traitements médicaux et choix du système d'irrigation.

Le lagunage est le traitement recommandé par l'OMS et aussi par le SDNAL, lorsque les terrains sont disponibles à prix raisonnable. Il s'agit d'une série d'étangs anaérobies, aérobies facultatifs et de maturation, avec des temps de rétention variables selon la température. Cette méthode combine la facilité de conception, de construction et de gestion, un bon rendement du point de vue de la qualité microbiologique et un faible coût. Les projets pilotes de REU (Ouarzazate, Ben Sergao,...) ont montré que l'utilisation de méthodes extensives de traitement des eaux usées (lagunage, infiltration-percolation) est tout à fait possible et même recommandée. De tels traitements permettent de respecter la directive de l'OMS pour une irrigation non restrictive à des prix raisonnables.

La directive OMS sert de base aux réglementations de nombreux pays méditerranéens. Ces règlements ne sont pas définitifs et des révisions régulières et progressives peuvent être appliquées pour tenir compte de l'amélioration du niveau moyen de l'hygiène. C'est d'ailleurs la tendance générale ; l'OMS revoit actuellement sa directive et la contrainte de 1 000 CF/100 ml sera probablement revue à la baisse.

Compte tenu de cette tendance, nous suggérons une limite de 200 CF/100 ml pour les coliformes fécaux et une limite de 1 œuf d'helminthe par litre pour une irrigation non restrictive. Cette norme est modulée en fonction du type de réutilisation et du type de cultures irriguées. Pour passer de la directive actuelle de l'OMS à cette proposition, il faut prévoir est un bassin de maturation supplémentaire ou une désinfection par chloration.

5 BIBLIOGRAPHIE

Angelakis A.N., Giotakis K., Tchobanoglou G. – Necessity of establishing EU-Guidelines for wastewater reclamation and reuse. Union of Municipal Enterprises for Water Supply and sewerage, 41200 Larissa, Greece. 32 pages.

Ayers R.S. and Westcot D.W. - *Water Quality for Agriculture*. FAO irrigation and Drainage paper 29 (Revised). FAO, Rome, Italy, 1989.

CEREMHER – Référence marocaine et recommandations pour la conception, la réalisation, l'exploitation du lagunage. Juin 1994.

Conseil National de L'Environnement (Maroc) – Commission Juridique et Relations Internationales. Normes et Standards, 1996.

Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (Maroc) – Réutilisation des eaux usées en agriculture. Huitième session, 1994. 56 pages.

DGCL, Ministère de l'Intérieur – L'épuration des eaux usées au Maroc. Synthèse des études expérimentales, 1995 . 94 pages.

EPA & USAID - Guidelines for Water Reuse. *Document de l'US Environmental Protection PA*, EPA/625/R-92/004, 1992. 247 p.

Faby Jean-Antoine, Brissaud François – L'utilisation des eaux usées en irrigation. MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE LA PECHE ET DE L'ALIMENTATION – OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU– France. Mai 1997.

FAO. (1992-a). *Irrigation Methods, Crops and Practices using Wastewater*. Regional Office of the United Nations, Technical Bulletin Series. Land and Water 4.

FAO. (1992-b). *Wastewater as a crop Nutrient Source*. Regional Office of the United Nations, Technical Bulletin Series. Land and Water 5.

Maas E.V. Salt Tolerance of plant. In: The hand book of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Metcalf and Eddy – Wastewater Engineering, Mc Graw Hill. 1993.

Ministère de l'agriculture du développement rural et des pêches maritimes (1998). Epuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. 156 pages.

National Academy of Science USA – National Academy of Engineering, 1973. Water Quality Criteria, 232-253.

ONEP – Evaluation des performances du fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de Ben Sergao, 1996.

ONEP et GTZ – Approche de la typologie des eaux usées urbaines au Maroc. Juillet 1998, 18 pages.

SDNAL - Schéma Directeur National d'Assainissement Liquide, 1998. Ministère de l'Intérieur, Direction Générale des Collectivités Locales – Direction de l'Eau et de l'Assainissement.

Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement (Maroc) – Document sur l'élaboration de valeurs limites pour les rejets liquides des tanneries au Maroc. Janvier 2000, 54 pages.

U.E. - Directive du Conseil 86/278/CEE du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture, 1986.

WHO (OMS) - World Health Organisation. Health Guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, Report of a WHO Scientific Group, Geneva, Switzerland, 1989.

Xanthoulis D. - *Rapport de synthèse: Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles*, Ouarzazate, Maroc. PNUD, FAO, MARA – Maroc, 1996.

Xanthoulis D. – Réutilisation des eaux usées en irrigation. Notes de cours, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux , 1994.

Zelloul M. - Dépollution et protection des ressources hydriques au Maroc : un lourd challenge pour la prochaine décennie. Colloque Environnement, Rabat, février 1999.

6 ANNEXES

6.1 Caractéristiques des eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques sont généralement constituées d'eaux de vanes (WC, toilettes, des eaux de toilette (bains, douches) et des eaux ménagères (vaisselle, linge). La pollution est habituellement caractérisée par des paramètres de type DCO, DBO₅, Azote Kjeldahl et ammoniacal et phosphore. Les charges bactériennes et parasitaires des déjections humaines caractérisent aussi les eaux usées urbaines. Les eaux usées contiennent habituellement des constituants non désirables tel que: oligo-éléments, composants organiques, pathogènes, etc. De tels éléments peuvent avoir des effets nocifs sur le sol, les cultures, la santé publique et l'environnement en général.

Avant d'irriguer avec des eaux usées urbaines, il faut évaluer l'impact de ces constituants sur le sol, les cultures irriguées, les animaux et les humains qui consomment ces cultures (Tableau 15). Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants dans la conception de projets de réutilisation agricole des effluents. L'aptitude des eaux usées pour l'irrigation est liée principalement aux effets sur le sol, les cultures, l'environnement et la santé humaine.

TABLEAU 15: CONSTITUANTS A CONSIDERER POUR L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USEES

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Solides en suspension	Solides en suspension	Les solides en suspension peuvent causer le dépôt de boues et l'apparition de conditions anaérobies lorsque les eaux usées sont déversées dans l'environnement aquatique. Les matières en suspension colmatent les systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande Biochimique en Oxygène, Demande Chimique en Oxygène	Composants principaux des protéines, hydrates de carbone et graisses. S'ils sont déversés dans l'environnement, leur décomposition biologique peut causer la diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et le développement de conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs de contamination fécale, coliformes fécaux et totaux	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les pathogènes dans les eaux usées: bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, phosphore, potassium	Azote, phosphore et potassium sont des nutriments essentiels pour la croissance des plantes et leur présence augmente la valeur des eaux usées pour l'irrigation. Lorsqu'ils sont déchargés dans l'environnement, azote et phosphore peuvent causer la croissance d'une vie aquatique non désirable. Lorsqu'il est appliqué en quantités excessives sur les terres, l'azote peut polluer la nappe souterraine.
Composants organiques spécifiques	Composants spécifiques (par ex: phénols, pesticides)	Ces matières organiques tendent à résister aux méthodes de traitement des eaux conventionnelles. Certains composants organiques sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale dans les eaux usées est pH =6.5-8.5, mais les déchets industriels peuvent altérer significativement le pH des eaux usées.
Métaux lourds	Éléments spécifiques (par ex: Cd, Zn, Ni, Hg)	Certains métaux lourds s'accumulent dans l'environnement et sont toxiques pour les plantes et les animaux. Leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Inorganiques dissous	Solides totaux dissous, conductivité électrique, éléments spécifiques (Na, Ca, Mg, Cl, B)	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. Des ions tels que Cl, Na, B sont toxiques pour certaines plantes. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité des sols.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Une quantité excessive de chlore libre (>0.5 mg/l Cl ₂) peut causer des chloroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Toutefois, la plupart du chlore dans les eaux usées est sous forme combinée, et n'endommage pas trop les plantes.

Source : Pettygrove and Asano, 1988.

Evidemment, les eaux usées n'ont pas une qualité standard. Il est donc nécessaire d'évaluer et suivre la composition de l'effluent pour garantir une irrigation saine et efficace. Pour cela, il faut adopter des mesures telles que le traitement des eaux usées, la minimisation du contact humain et l'application des conditions d'hygiène appropriées à travers un système de contrôle intégré.

6.1.1 MES et matières organiques

Les matières en suspension (MES) caractérise la pollution particulaire microscopique dont la taille est de quelques mm à quelques dixièmes de mm. C'est une pollution en majeure partie de nature biodégradable. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. C'est une étape simple dans la réduction de la charge polluante des eaux usées. La plus grande partie des micro-organismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES et est donc éliminée lors de la décantation. Une présence excessive de matières en suspension dans les eaux épurées peut obstruer les systèmes d'irrigation.

Paramètre mesuré : les matières en suspension comprenant les matières volatiles et fixées.

La matière organique est composée principalement d'hydrates de carbone et de graisses. Leur décomposition biologique peut entraîner la disparition de l'oxygène dissous des eaux réceptrices et le développement de conditions septiques. La présence de matière organique en concentration importante dans les eaux usées peut gêner l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes.

La dégradation des matières organiques par les micro-organismes provoque la libération d'azote minéral qui constitue un élément essentiel de l'alimentation des plantes. De par son action sur la structure du sol, la présence de matière organique est un facteur favorable à la réutilisation des eaux usées en agriculture. Pour une eau résiduaire donnée, la vitesse et le rendement de cette dégradation dépendent essentiellement de la température et de l'aération du sol. Compte tenu de la grande capacité des sols à l'aération et de l'activité microbienne, l'épuration d'une tonne de matières organiques par hectare et par jour (1 tonne de M.O./ha/j), en dehors de la période froide, peut être prise comme point de repère. La possibilité d'élimination annuelle en matière organique est de 30 à 40 tonnes de DCO par hectare. Des concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment si les eaux stagnent à la surface du sol.

6.1.2 Substances nutritives

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de macro nutriments (N, P, K, Ca, Mg) sous forme soluble, directement disponibles par les plantes. Si la concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur des eaux usées, il n'en est pas moins vrai que les éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée et/ou un apport d'eau usée élevée.

Les nutriments des eaux usées, ajoutés à chaque irrigation, représentent une sorte de fertigation. Cette technique est économiquement intéressante car elle réduit (et même annule) le coût de la fertilisation. La fertigation est l'application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation. Par contre l'aspect inquiétant lié à l'application soutenue de nutriments par l'irrigation avec les eaux usées est l'effet néfaste dû à un déséquilibre nutritionnel dans le cas de certaines plantes sensibles à un excès d'éléments fertilisants.

6.1.2.1 Azote (N)

La concentration totale en azote des eaux usées urbaines varie de 20 à 60 mg/l suivant le traitement secondaire. Les eaux usées contiennent d'habitude trois formes d'azote: organique, ammonium et nitrate.

L'azote des eaux usées recyclées apporté en excès par rapport aux besoins des plantes stimule la croissance végétative, provoque un retard dans la maturité et réduit la qualité des cultures. Une bonne connaissance de la teneur en azote de l'effluent et une bonne gestion sont essentielles pour résoudre les problèmes associés aux teneurs élevées en azote. Le procédé de contrôle implique la sélection des cultures et le contrôle de la quantité de l'eau d'irrigation. Certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond.

Lorsque trop peu d'azote est présent dans les effluents, un apport supplémentaire est nécessaire pour atteindre le rendement optimum.

6.1.2.2 Phosphore (P)

Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes plantes. La teneur en phosphore dans l'effluent d'une installation de traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15 à 35 mg/l P_2O_5). Cette teneur en phosphore dans les eaux usées recyclées ne sera peut être pas suffisante en début de croissance pour influencer le rendement des cultures. Pour l'établissement d'un programme de fertilisation, l'évaluation du phosphore dans les eaux usées à recycler doit être réalisée en conjonction avec l'analyse des terres.

6.1.2.3 Potassium (K)

C'est un macronutriment essentiel pour les plantes et il joue un rôle positif dans la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. La quantité de potassium dans les effluents de traitement secondaire varie entre 10 et 30 mg/l de K (12 à 36 mg/l K_2O). Cette quantité doit être prise en compte pour l'établissement d'un programme de fertilisation des cultures.

L'apport en azote des eaux usées dépasse les besoins et le prélèvement par les cultures. L'excès d'azote percolera dans la nappe dont la concentration en nitrates devrait logiquement augmenter dans le temps. L'impact de cette activité sur l'environnement ne doit pas être ignoré.

A titre d'exemple, le tableau 16 montre que la quantité d'azote total apportée à une culture de tomate irriguée avec des eaux usées urbaines de la ville de Ouarzazate (Maroc), dépasse les besoins de cette plante.

TABLEAU 16 : APPORT EN NPK (KG/HA) PAR LES EAUX DE NAPPE, BRUTES ET EPUREES PAR LAGUNAGE POUR UN VOLUME D'EAU D'IRRIGATION DE 6500 M³/HA – CULTURE DE TOMATE

Eléments Minéraux	Eau usée épurée	Eau usée brute	Besoins théoriques
N	225	334	175
P	99	145	75
K	155	111	175

source: Xanthoulis, 1996

Logiquement, les concentrations de N, P et K dans les eaux épurées dépendent de l'*origine des eaux brutes et du procédé de traitement*. En première approximation, on peut admettre que tout l'azote et une grande partie du phosphore et du potassium normalement requis pour la production agricole sont apportés par l'effluent.

6.1.3 *Eléments traces*

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. Les eaux usées vont apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. Pour éviter les effets toxiques sur les plantes, les valeurs maximales des micronutriments ne devraient pas dépasser certaines valeurs recommandées (tableau 17) (Ayers et Westcot, 1985).

Les éléments traces, immobilisés dans les couches supérieures du sol, peuvent par accumulation, entraîner des risques pour le développement des plantes (Ni, Cu, Zn), la santé des hommes et des animaux (Mo, Cd). Le molybdène et surtout le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité (Faby, 1997). Par ailleurs, les eaux usées urbaines contiennent assez de bore pour corriger n'importe quelle déficience. L'effet toxique de cet élément est à considérer au-dessus d'une certaine concentration. La toxicité du bore est difficile à éliminer car sa teneur n'est pas affectée par le traitement des eaux usées.

Tableau 17: Concentrations maximales (Mg/l) en éléments traces recommandées pour les eaux d'irrigation

ELEMENT (SYMBOLE)	EAUX UTILISEES EN PERMANENCE TOUS TYPES DE SOL MG/L	UTILISATION ALLANT JUSQU'A 20 ANS SUR DES SOLS A TEXTURE FINE AYANT UN PH DE 6 A 8,5 MG/L
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2;0
Béryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	1	2,0
Cadmium (Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt (Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluorure (F)	1,0	15,0
Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li) ⁽¹⁾	2,5	2,5
Manganèse (Mn)	0,2	10,0
Molybdène (Mo)	0,01	0,05 ⁽²⁾
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

Source : Ayers et Westcot, 1985

Ces niveaux ne doivent normalement endommager ni les plantes, ni les sols. On ne dispose d'aucune donnée sur le mercure (Hg), l'argent (Ag), l'étain (Sn), le titane (Ti), le tungstène (W).

⁽¹⁾ La concentration maximale recommandée pour l'irrigation des agrumes est de 0,075 mg/l.

⁽²⁾ Uniquement pour des sols acides à texture fine ou des sols acides à teneur relativement élevée en oxyde de fer.

Les concentrations des métaux lourds dans les eaux résiduaires sont généralement faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation (tableau 18). L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Cependant, afin d'éviter tout risque, il est nécessaire de suivre la qualité des eaux recyclées.

TABLEAU 18: CONCENTRATIONS D'ELEMENTS A L'ETAT DE TRACE DANS LES EAUX DE NAPPE, LES EAUX USEES BRUTES ET LES EAUX USEES EPUREES DE OUARZAZATE (MG/L)

	Concentration maximale recommandée (mg/l)	Eau de nappe	Eau usée brute	Eau usée épurée par lagunage
Al	5,0	0,08	2,3	0,48
As	0,1	ND*	0,0002	
Cd	0,01	0,0004	0,0010	0,0001
Co	0,05	0,044.	0,22.	0,077
Cr	0,1	0,0055	0,012	0,0025
Fe	5,0	0,195	10,37	2,70
Mn	0,2	0,0325	1,45	0,33
Ni	0,2	0,01	0,135	0,044
Pb	5	0,0015	0,0090	0,001
Zn	2,2	0,063	2,26	0,96
Se	0,02	0,0012	0,0025	0,001
B	0,7	0,01	0,10	0,01
Cu	0,2	0,16	1,28	0,24

Source: Xanthoulis, Projet de Ouarzazate, 1996

*ND = non détecté

6.1.4 Toxicité spécifique de certains ions (chlore, sodium, bore)

Certains éléments spécifiques comme le sodium, le chlore et le bore peuvent causer des réductions de rendement. Ces éléments n'ont d'effet que sur la productivité des cultures, contrairement aux métaux lourds et aux autres éléments chimiques de forte toxicité qui ont un effet sur la santé humaine et animale.

De fortes teneurs en Cl et Na peuvent se rencontrer notamment en bord de mer, lorsque les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres.

Le chlore et le sodium sont moins toxiques que le Bore. La plupart des cultures arboricoles et autres plantes pérennes de type ligneux sont particulièrement sensibles à de faibles concentrations en chlore et en sodium (tableau 19, cité par FAO, 1989). Les cultures annuelles ne sont généralement pas aussi sensibles mais peuvent être affectées par des concentrations plus élevées. Les risques sont moindres avec des irrigations nocturnes.

TABLEAU 19 : : CONCENTRATIONS EN NA ET CL DE L'EAU D'ASPERSION PROVOQUANT DES BRULURES DES FEUILLES (a,b)

CONCENTRATION EN NA ET CL (meq/l ^(c)) A PARTIR DESQUELLES ON OBSERVE DES BRULURES DES FEUILLES ^(d)			
moins de 5	5 - 10	10 - 20	plus de 20
Amandier	Raisin	Orge	Choux fleur
Abricotier	Pommes de terre	Blé	Betterave sucrière
Agrumes	Tomate	Concombre	Tournesol
Prunier		Sorgho	
	Gazons de golf		

Source :

- (a) Données de Maas (1984)
- (b) Susceptibilité basée sur l'absorption directe des sels par les feuilles
- (c) la concentration de Na ou Cl en meq/l peut être calculée en divisant les mg/l par le poids moléculaire de Na (23) ou Cl (35,5). (meq/l = mg/l / poids moléculaire)
- (d) Le dommage causé aux feuilles est influencé par les conditions environnementales et de culture. Ces données sont présentées uniquement en tant que guide pour l'irrigation par aspersion.

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

Quand les eaux réutilisées ont été chlorées et que le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par aspersion. Mais le chlore résiduel libre est très réactif et instable dans l'eau ; il suffit alors de stocker l'eau quelques heures dans un réservoir ouvert pour l'éliminer. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable. La plupart des projets d'irrigation ne devraient pas rencontrer ce problème s'ils utilisent un réservoir de stockage intermédiaire ; mais il est important de redoubler de précautions si ce réservoir est court-circuité et que l'effluent est directement utilisé (Faby, 1997).

Le Bore

Le Bore peut provenir en quantité importante des usines et des détergents domestiques. C'est l'un des éléments essentiels pour les cultures ; mais il est toxique pour certaines plantes sensibles. Bien que les composés du bore soient souvent solubles, ils ne sont absorbés sur les particules du sol qu'en faible proportion. Cette toxicité est difficile à corriger sans changer d'eau d'irrigation. Le lessivage peut éventuellement maintenir la concentration du bore à des niveaux tolérables.

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. A des concentrations très faibles, le bore est indispensable à la croissance des végétaux, dont les besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées ; lorsque sa concentration excède 1 mg/l, il peut être toxique pour les plantes les plus sensibles). La FAO classe les eaux d'irrigation selon le risque de toxicité spécifique du chlore, du sodium et du bore (tableau 20).

TABLEAU 20: NORMES D'INTERPRETATION DE LA QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION QUAND A LA TOXICITE SPECIFIQUE DE CERTAINS IONS

TOXICITE SPECIFIQUE		DEGRE DE RESTRICTION A L'USAGE		
	Unité	aucune	modérée	Sévère
Irrigation par aspersion				
Sodium (Na)	mg/l	< 70	> 70	
Sodium (Na)	me/l	< 3	> 3	
Clore (Cl)	mg/l	<100	>100	
Clore (Cl)	me/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3
Irrigation gravitaire				
Sodium (Na)	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Clore (Cl)	mg/l	<140	140 - 350	>350
Clore (Cl)	me/l	< 4	4 - 10	> 10
Bore (B)	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3

Source: Ayers and Westcot, 1985

6.1.5 Salinité

La salinité constitue le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation dans les zones arides et semi-arides.

La salinité globale d'une eau est sa concentration totale en sels solubles et s'évalue par la mesure de sa conductivité électrique. Les eaux d'irrigation sont classées en fonction de ce paramètre selon une échelle reprise au tableau 21. Les limites indiquées doivent être prises comme indicatives, celles-ci pouvant varier dans la pratique en fonction de la nature des sols. Les sols lourds et/ou alcalins supportent en général moins bien des qualités d'eau médiocres.

En dessous de 700 μ S/cm, peu de cultures sont affectées par la salinité; entre 700 et 3.000 μ S/cm, le maintien des rendements est encore possible avec des façons culturales adéquates (notamment le lessivage).

TABLEAU 21: NORMES D'INTERPRETATION DE LA QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION QUANT A LA SALINITE

SALINITE	UNITE	DEGRE DE RESTRICTION A L'USAGE		
		Aucune	modérée	sévère
Ec	ds/m	<0.7	0.7-3.0	>3
TDS*	mg/l	<450	450-2000	>2000

Ayers and Westcot, **1989**

*Quantité totale de matières dissoutes (mg/l)

Lors de l'irrigation avec des eaux salées, les rendements culturaux peuvent être maintenus à condition d'apporter des quantités d'eau d'irrigation supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner les sels en dessous de la zone racinaire. Un drainage doit être prévu si la présence d'une nappe sous-jacente remonte les sels en surface.

On estime que la concentration en sels de l'eau usée n'excède pas significativement celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable, sauf dans le cas particulier de pénétration d'eaux saumâtres parasites dans les réseaux d'assainissement.

Dans une région donnée, on attribue généralement aux agglomérations et centres urbains les eaux les moins salines et de meilleure qualité de la zone. Par conséquent, les eaux usées épurées sont généralement moins salées que les eaux de nappe utilisées pour l'irrigation traditionnelle. Cette différence peut parfois être déterminante quand aux résultats agronomiques. Ainsi, par exemple, dans le projet de Ouarzazate, le rendement du concombre irrigué avec des eaux de nappe a été faible à nul à cause de la salinité excessive des eaux de la nappe, alors que le traitement avec des eaux usées épurées a donné de très bons résultats. Ce constat a été général, avec des niveaux de réponse différents dépendant de la sensibilité de la culture à la salinité.

6.1.6 Sodicité

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en Na. On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le S.A.R. (Sodium Absorption Ratio) :

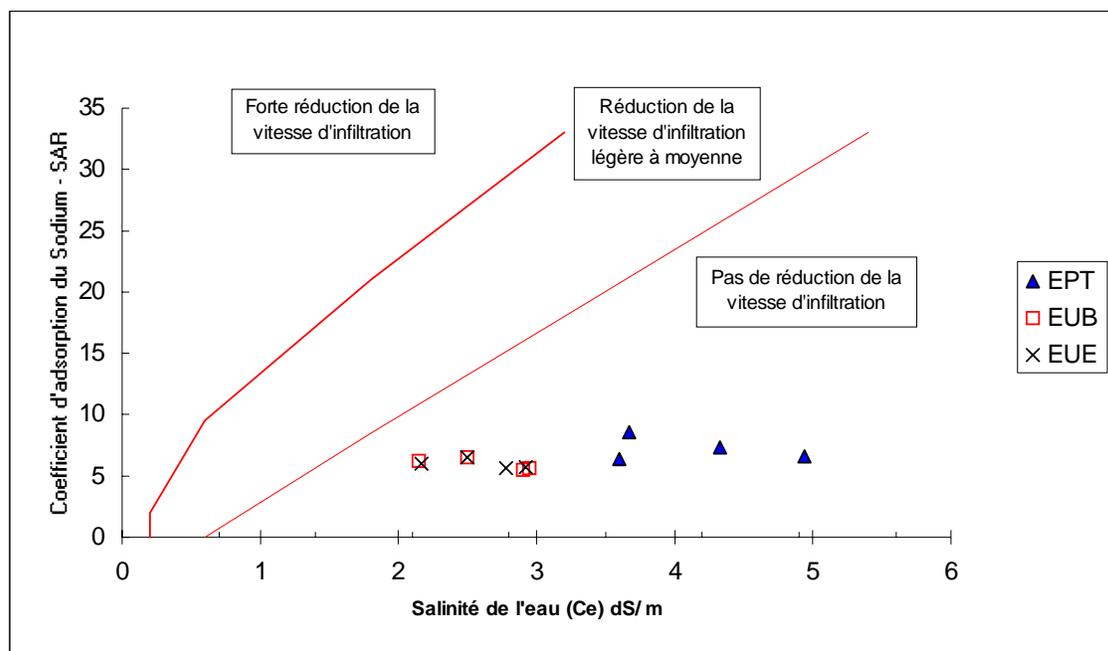
$$SAR = \frac{Na_+}{\sqrt{\frac{Ca_{++} + Mg_{++}}{2}}}$$

Où Na+, Ca++ et Mg++ sont exprimés en meq/l

Le sodium échangeable a une incidence marquée sur les propriétés chimiques et physiques des sols. A mesure que la teneur en sodium échangeable augmente, le sol a tendance à se disperser, il devient moins perméable à l'eau et ne se prête guère aux façons culturales. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. Suivre ce paramètre au cours des campagnes va permettre d'apprécier la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération de ses qualités physiques.

La vitesse d'infiltration croît généralement avec une salinité croissante et décroît lorsque la salinité décroît ou que la teneur en sodium augmente par rapport au calcium ou magnésium. Par conséquent, les deux facteurs, salinité et SAR doivent être considérés ensemble pour évaluer de l'effet de l'eau d'irrigation sur la vitesse d'infiltration du sol. Un diagramme proposé par l'U.S. Salinity Laboratory (Ayers et Westcot, 1989) classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de salinité (figure 1). A titre d'exemple, nous y avons reporté quelques résultats d'analyse d'eaux testées dans le cadre du projet de Ouarzazate (Xanthoulis, 1996).

FIGURE 1 : EFFET RELATIF DE LA SALINITE ET DU COEFFICIENT D'ADSORPTION DU SODIUM SUR LA VITESSE D'INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOL



Source : Xanthoulis, Projet de Ouarzazate, 1996

EPT = Eau du puits témoin, EUB = Eau usée brute, EUE = eau usée épurée

Exemple de résultats d'analyse

Le tableau 24, section 6.2.1. présente quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation utilisées dans le cadre du projet de Ouarzazate. On remarque que les eaux usées sont plus alcalines, moins salées et moins sodiques que les eaux de la nappe, que les teneurs en sodium et chlore y sont moins élevées et que les teneurs en éléments nutritifs (N, P) y sont beaucoup plus élevées.

Dans les eaux usées, l'azote est présent essentiellement sous forme ammoniacale. La perte en N se produit au cours de l'épuration et serait due à une consommation par les algues et les micro-organismes. La volatilisation de l'ammonium en milieu alcalin (pH de l'eau usée épurée = 8,3) est une autre cause de diminution de la concentration en azote ammoniacal. La teneur élevée en nitrate dans l'eau du puits indique une contamination de la nappe.

6.1.7 *Micro-organismes pathogènes*

Les excréta humains contiennent de nombreux pathogènes mais les trois groupes ci-après sont les plus importants et peut causer des maladies (OMS, 1989) :

Premier groupe : les virus.

Les virus sont des parasites qui se multiplient uniquement dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Les entérovirus (polio), les rotavirus, les retrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A sont les virus entériques humains les plus importants.

Deuxième groupe : les bactéries.

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10^4 /l. les salmonellas sont les plus communément rencontrées et sont responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux.

Troisième groupe : les helminthes et oeufs de parasites intestinaux.

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 /l (*Ascaris*, *Oxyuris*, *Trichuris*, *Taenia*). Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. L'ascaridiose, par exemple, est une maladie causée par les helminthes.

Sur les sols, la plupart des pathogènes peuvent survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois, et particulièrement dans des endroits ombragés humides. Certains virus seraient même à l'abri de tous facteurs d'environnement par adsorption sur les particules du sol. Les vers intestinaux sont particulièrement résistants aux conditions environnementales des sols, et, dans des cas extrêmes, les œufs de l'*Ascaris* peuvent, là aussi, survivre plus d'un an dans un sol après contamination fécale.

Les principaux facteurs liés directement aux risques des pathogènes sont : la quantité excrétée, le temps de latence, la persistance, la multiplication, la dose infectante, la réponse de l'hôte, l'existence d'hôtes animaux, le besoin d'hôtes intermédiaires pour leur développement. Le tableau 22 donne une idée de ces différents critères pour les trois grands groupes de pathogènes présents dans les eaux usées.

Latence : c'est l'intervalle de temps entre la libération des germes dans le milieu et le moment où il peut infester un hôte. Tous les virus, bactéries et les protozoaires ont une période de latence nulle; ils sont tout de suite infectieux. Par contre, les vers ont une période de latence en général fort longue.

Persistance dans le milieu : c'est la viabilité dans le milieu; pour les non-persistants, la dispersion se fait dans l'entourage immédiat. Toutes les populations de germes décroissent dès qu'elles sont excrétées dans le milieu, mais la vitesse de décroissance dépend des conditions extérieures telles que la température (persistance plus longue aux basses températures), présence d'un substrat favorable à une multiplication libre (*Salmonella*, *Escherichia*, *Shigella*). Les kystes des vers

intestinaux sont les plus résistants. Cette notion de durée de vie est d'une importance capitale en ce qui concerne le choix d'un traitement d'épuration des eaux.

TABLEAU 22: PRINCIPAUX FACTEURS DE TRANSMISSION DE MALADIES POUR LES PATHOGENES ASSOCIES A L'UTILISATION DES EAUX USEES. CARACTERISTIQUES EPIDEMIOLOGIQUES DE QUELQUES AGENTS PATHOGENES DES EAUX USEES (VALEURS MOYENNES TIREES DE LA BIBLIOGRAPHIE)

AGENTS	QUANTITE EXCRETEE PAR G/FECES	LATENCE	SURVIE	MULTIPLICATION DANS L'ENVIRONNEMENT	DOSE INFECTANTE DI 50
VIRUS					
Enterovirus	10^7	0	3 mois	non	< 100
Hépatite A	10^6 ?	0	?	non	?
Rotavirus	10^6 ?	0	?	non	?
BACTERIES					
Colibacilles	10^8	0	3 mois	oui	$\pm 10^9$
Salmonella typhi.	10^8	0	2 mois	oui	10^7
Autres Salmonelles	10^8	0	2-3 mois	oui	10^6
Shigella	10^7	0	1 mois	oui	10^4
PARASITES					
Amibe dysent.	10^7	0	25 jours	non	10 à 100
Giardia lamblia	10^5	0	25 jours	non	10 à 100
Ascaris	10^4	10 jours	> 1 an	non	quelques unités
Taenia	10^4	2 mois	9 mois	non	1

Source : adapté de Feachem et al , 1983, tiré de Faby, 1997

Multiplification dans le milieu : dans certaines conditions favorables, quelques espèces de bactéries peuvent se multiplier dans le milieu environnant si elles trouvent un bon substrat (Salmonelles sur la nourriture). Les vers intestinaux à hôte intermédiaire ne se multiplient que dans celui-ci.

Dose infectieuse : les doses nécessaires pour provoquer une maladie varient selon le type de germe et l'individu concerné. La notion de dose infectieuse est difficilement utilisable comme critère de classification. Le paramètre utilisé est la dose infectieuse médiane (DI50) qui correspond à la dose nécessaire pour infester la moitié de la population.

Réponse de l'hôte : c'est l'équilibre entre infection et réponse de l'hôte qui détermine en grande partie le risque de voir apparaître une maladie. Si la population est exposée de manière continue à un germe, la maladie est endémique et la transmission élevée. Dans ce cas, la maladie se déclare chez les enfants et les adultes sont immunisés dès leur jeune âge. Il y a épidémie lorsqu'il y a une soudaine augmentation de l'exposition à un germe dont la transmission est normalement faible. En général, les virus sont très immunogènes, les bactéries le sont plus faiblement et les parasites très peu.

A partir de ces caractéristiques, on peut classer les agents pathogènes selon leur risque infectieux lié à leur présence dans les eaux usées.

Catégorie 1 : agents à faible dose infectante (100 éléments ou moins) et sont immédiatement infectieux (latence = 0). Ils sont propices à une contagion inter humaine directe. Cette catégorie comprend les virus.

Catégorie 2 : Immédiatement infectieux, agents à dose infectante plus élevée (supérieure ou égale à 10^4). Ils se transmettent donc plus difficilement par contagion directe. Ils ont une longue durée de survie dans le milieu extérieur liée à leur faculté de s'y multiplier. Aussi, de faibles quantités excrétées peuvent donner naissance à de fortes concentrations infectantes s'il y a un substrat favorable à la multiplication (solides en suspension, déchets organiques). Le rôle de l'assainissement est d'essayer d'interférer avec la libération de ces pathogènes dans le milieu et leur multiplication dans les effluents (traitement physico-chimique).

Catégorie 3 : parasites à transmission directe et latence plus ou moins longue (*Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*). Il n'y a pas de contagion inter humaine puisqu'une durée minimum d'incubation dans l'environnement est nécessaire à l'acquisition du caractère infectant. Les techniques d'assainissement sont en pratique le seul moyen de contrôler la transmission.

Se basant sur cette analyse qui définit et sur des études épidémiologiques, l'OMS a élaboré des directives relatives à la réutilisation des eaux usées (voir tableau 4, section 2.1).

6.1.8 Mesures de lutte sanitaire

Parmi les mesures de lutte sanitaire, le traitement des eaux usées en est la principale puisque ce traitement va éliminer partiellement ou totalement les micro-organismes pathogènes. Toutefois il existe la possibilité de créer d'autres barrières à la propagation de la contamination : les mesures professionnelles, les restrictions des cultures, les traitements médicaux et le choix du système d'irrigation.

6.1.8.1 Traitement des eaux usées

Le traitement conventionnel des eaux consiste à combiner des procédés physiques, chimiques et biologiques et des opérations destinées à éliminer les solides en suspension, les matières organiques et parfois les nutriments des eaux usées. Les termes généraux utilisés pour décrire les différents degrés de traitement de l'eau dans l'ordre croissant du niveau de traitement sont : le traitement primaire, secondaire et tertiaire.

Il est reconnu que les traitements primaires et secondaires classiques (décantation, boues activées, filtre bactérien) ne sont pas suffisants pour produire des effluents de catégorie A de la directive OMS (tableau 4, section 2.1). Les traitements tertiaires chimiques (avec traitement au chlore) donnent lieu à un très bon taux d'élimination des bactéries, mais ne semblent pas permettre une élimination valable des Helminthes et des protozoaires.

Les étangs de stabilisation constituent la méthode la plus recommandée par l'OMS mais aussi par le SDNAL pour les climats chauds et lorsque les terrains sont disponibles à prix raisonnable. Il s'agit d'une série d'étangs anaérobies, aérobies facultatifs et de maturation, avec des temps de rétention totale variable selon la température. Cette méthode combine :

- facilité de conception, de construction et de gestion ;
- bon rendement du point de vue de la qualité microbiologique et faible coût.

L'efficacité des procédés d'épuration est fortement liée à la conception des ouvrages et à leur modalité d'exploitation. L'élimination des bactéries pathogènes est due principalement à l'action combinée de l'oxygène, des rayons solaires et des prédateurs. Le taux d'élimination augmente avec le temps de séjour dans le système d'épuration. L'élimination des parasites pathogènes au cours des opérations de traitement sera en grande partie provoquée par la sédimentation. On peut retenir les taux d'élimination suivants comme ordre de grandeur (tableau 23).

TABLEAU 23: TAUX D'ELIMINATION EN FONCTION DU PROCEDE D'EPURATION

PROCEDE DE TRAITEMENT	TAUX D'ELIMINATION (U LOG)	
	Bactéries	Helminthes
Sédimentation primaire	0-1	0-2
boues activées	0-2	0-2
Désinfection (chloration)	2-6	0-1
Stockage des effluents	1-6	1-3
Bassins de stabilisation (temps de séjour = 20j)	1-6	quasi totale

Metealf and Eddy, 1993.

6.1.8.2 *Mesures professionnelles*

Les mesures dépendront fortement du degré d'évolution et de la résistance des groupes visés.

- Agriculteurs : Chaussures, gants, hygiène, vaccination, suivi sanitaire.
- Consommateurs : cuisson, (légumes, lait, viande), hygiène, suivi médical (campagne d'éducation sanitaire).
- Habitations limitrophes des champs où il existe une application d'eaux usées : une distance minimale doit être maintenue (entre 100 et 300 m selon les conditions locales).

6.1.8.3 *Restriction des cultures*

Les eaux usées qui ont été traitées et qui respectent les directives de qualité de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour une utilisation non restrictive (c'est-à-dire moins de 1 000 coliformes fécaux par 100 ml et moins de 1 nématode par litre), peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures sans mesure supplémentaire de protection de la santé (OMS, 1989).

Si les directives de qualités ne sont pas entièrement respectées, il est néanmoins possible d'irriguer certaines cultures sans risques pour le consommateur pour autant que les mesures nécessaires soient appliquées (utilisation restrictive).

6.1.8.4 *Traitements médicaux (WHO, 1989)*

- IMMUNISATION : vaccins (polio, variole,...) - immunité de longue durée (voire pour toute la vie). Problème : helminthes et protozoaires car seule une immunisation partielle existe. Les campagnes de vaccination sont coûteuses et exigent une très bonne organisations.
- CHIMIOThERAPIE : il existe des médicaments à large spectre helminthocides, mais en aucun cas ils ne sont une solution pour les zones où il y a une réinfection continue.

6.1.8.5 *Choix de la méthode d'irrigation*

Pour une eau traditionnelle, le choix du système d'irrigation dépendra de la qualité de l'eau (essentiellement sa salinité), des cultures à irriguer, de l'investissement possible et du type de sol. L'utilisation d'eaux usées implique des préoccupations supplémentaires telles que les éléments toxiques, la résistance et la méfiance sociale, les aspects culturels et légaux ainsi que les précautions sanitaires et environnementales associées.

Il faut mettre en oeuvre toutes les mesures et moyens pour protéger les agriculteurs, éviter la contamination des plantes irriguées et minimiser l'impact sur le sol et les ressources en eau. Il est possible de réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées par la sélection de méthodes d'irrigation appropriées.

Il est important de minimiser les risques sanitaires associés au contact direct ou indirect avec les eaux usées qui contiennent des pathogènes pendant le processus d'irrigation.

L'irrigation à la planche, par bassin et par submersion impliquent le recouvrement complet de la surface du sol avec l'effluent traité et donc la contamination des cultures qui poussent sur le sol ou dans le sol. Avec ces méthodes, les fermiers ou les agriculteurs sont en contact avec l'effluent. Ces méthodes d'irrigation ne seront acceptées que pour la production de fourrages et de céréales à condition que les ouvriers évitent le contact direct avec l'eau pendant l'irrigation.

L'irrigation à la raie ne mouille pas l'entièreté de la surface du sol. Cette méthode peut réduire la contamination des cultures puisque les plantes poussent sur les butes. Mais une protection sanitaire complète ne peut pas être garantie. Le risque de contamination est réduit si l'effluent est transporté par des conduites fermées.

Outre les risques sanitaires, l'irrigation de surface comporte un danger de pollution du sol et des nappes supérieures aux autres systèmes d'irrigation à cause de sa faible efficacité (pertes élevées par colature et par percolation).

L'irrigation par aspersion peut être utilisée pour épandre des eaux usées qui ont subi un traitement secondaire pour autant que l'effluent ne soit pas trop salin. Des précautions supplémentaires telles que la filtration et le choix d'ajutage de diamètre adéquat sont nécessaires. En passant à l'irrigation par aspersion, on diminue le risque de colmatage par rapport à l'irrigation localisée, mais on introduit un risque lié à la contamination des cultures par contact avec l'eau et du voisinage par aéroaspersion. On peut ajouter que le système d'aspersion doit être utilisé de façon à éviter tout contact direct des personnes avec les gouttes d'eau. Les cultures industrielles et les cultures consommées cuites peuvent être irriguées avec ce procédé.

La technique la mieux adaptée à l'apport d'eaux usées est certainement **l'irrigation localisée** parce qu'elle engendre le moins de risques sanitaires. Malheureusement, ces systèmes requièrent une filtration efficace et demandent un entretien constant à cause de leur sensibilité au colmatage. Depuis peu, il existe un système d'irrigation localisée que l'on place dans le sol, directement au voisinage des racines. Un produit phyto-pharmaceutique spécial intégré dans la masse même du tuyau repousse les racines et les empêche d'envahir la rampe.

Pour assurer un bon fonctionnement et une gestion efficace d'un système d'irrigation qui utilise les eaux usées, il faut veiller à l'entretien du matériel en raison des caractéristiques propres à ce type d'eau. Il faut intégrer dans le système certains composants tel que : filtres à tamis, filtre à sable, vanne de purge, etc. Il est important d'effectuer régulièrement un contrôle et une vérification de la performance des composants; ainsi que du fonctionnement de tout le système. Des rapports réguliers sur le fonctionnement et l'entretien du réseau sont nécessaires pour parer au plus vite à une défaillance.

La "**bubbler irrigation**" est un système d'irrigation à faible charge utilisant des conduites fermées permettant une grande uniformité d'irrigation par rapport à l'irrigation de surface. Ce système est particulièrement intéressant pour l'irrigation de cultures fortement espacées comme les arbres fruitiers ou les essences forestières. Le volume et la fréquence peuvent être réglés précisément, la "bubbler irrigation" peut être appliquée comme l'irrigation localisée. Des tuyaux de diamètre de 15 mm sont utilisés et ne nécessitent pas de charge élevée ni de filtration. C'est un système d'irrigation particulièrement bien adaptée à l'irrigation avec des eaux usées.

6.1.9 Recommandation pour le contrôle

Afin de garantir à l'utilisateur une eau de qualité apte à un usage agricole et au consommateur des produits cultivés de bonne qualité, nous pouvons, à défaut d'autres recommandations, prendre celles du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France qui recommande un schéma de contrôle repris aussi dans le SDNAL :

1. les valeurs limites fixées pour les œufs d'helminthes intestinaux et pour les coliformes thermotolérants doivent être considérées comme des valeurs impératives que les eaux usées épurées, utilisées pour l'irrigation des cultures et des espaces verts, doivent respecter en toute circonstance ;
2. La fréquence d'échantillonnage doit atteindre un rythme d'au moins un prélèvement toute les deux semaines, au moins pendant la première année qui précède l'utilisation effective des eaux épurées pour l'irrigation, et pendant la première période d'utilisation ;
3. En cas de dépassement de la valeur limite, il faut faire une nouvelle analyse immédiatement pour confirmer le résultat précédent ; lorsque le dépassement persiste et après enquête de l'autorité sanitaire, l'utilisation des eaux usées épurées doit être abandonnée de façon temporaire ou définitive ;
4. La fréquence d'échantillonnage peut être réduite d'un facteur 2 lorsque la totalité des résultats des analyses réalisées au cours de la période précédente d'utilisation a été jugée conforme.

La mise en application de cette recommandation implique que le laboratoire d'analyse soit correctement équipé et situé près du périmètre et qu'il a les moyens financiers et en personnel pour effectuer les analyses physico-chimiques et parasitologiques.

6.2 Projets pilotes de traitement et de réutilisation des eaux épurées

6.2.1 Ouarzazate

Cette partie est extraite du rapport de synthèse (Xanthoulis, 1996) du projet de Ouarzazate et de la plaquette publiée à la fin du projet (Ministère de l'Agriculture, 1998).

Ce projet a débuté en octobre 1988 par le lancement des travaux de construction de la station de pompage et des bassins de stabilisation et s'est poursuivi jusqu'en 1994. Ce projet visait à évaluer les effets de la réutilisation des eaux usées à travers les actions suivantes :

- étudier les effets de l'utilisation des eaux brutes et traitées sur les sols, les cultures et les systèmes d'irrigation ;
- définir les critères sanitaires pour l'utilisation saine des eaux usées traitées ;
- identifier les techniques les plus appropriées pour une meilleure valorisation des eaux usées et des boues résiduelles ;
- suivre les effets de la réutilisation sur l'environnement et particulièrement sur l'évolution de la qualité des eaux de la nappe ;
- étudier l'efficacité du système de traitement des eaux usées par bassin de stabilisation ;
- renforcer les capacités nationales de réutilisation des eaux usées à des fins agricoles ;
- utiliser les résultats pour étendre l'utilisation des eaux usées à un niveau régional et national ; et
- calculer les coûts liés directement ou indirectement au projet, s'inscrivant dans une analyse financière et économique détaillée

Voici les critères qui ont présidé au choix du site de Ouarzazate :

- 1) La zone est pré-saharienne, caractérisée par un climat aride ou le facteur "eau" constitue une contrainte limitant toute activité agricole.
- 2) Les eaux usées brutes sont utilisées à l'aval des rejets par les agriculteurs pour l'irrigation de cultures.
- 3) Les ressources en eaux superficielles et souterraines sont limitées dans la région et présentent des indices de salinité élevés.
- 4) Les eaux usées brutes sont déversées, sans aucun traitement, dans la cuvette du barrage El Mansour Eddahbi.
- 5) Les habitants des zones situées en aval du barrage utilisent les eaux pour les besoins d'irrigation et domestiques.
- 6) Le volume des rejets urbains est suffisamment important pour pouvoir irriguer le périmètre expérimental.
- 7) La disponibilité de la main d'oeuvre et de terres situées juste en aval du point de rejet.
- 8) Le soutien et l'adhésion collectifs (élus, autorités locales, population) pour le projet.

6.2.1.4 la station d'épuration par lagunage

Le système d'épuration se situe à l'aval du principal exutoire du réseau d'assainissement de la ville. Le réseau comprend les ouvrages de prétraitement traditionnels qui opèrent les 3 opérations classiques: le dégrillage à nettoyage manuel, le déshuilage et le dessablage.

Pour la première phase du projet couvrant période de novembre 89 à septembre 92, la filière de traitement se compose d'un bassin anaérobie, suivi de 5 bassins facultatifs et enfin de 2 bassins de maturation. Un bassin de stockage termine la filière. Le temps de séjour total est de 34.1 jours. Pour la seconde phase du projet couvrant la période 1994 à 1996, la mise hors circuit de 2 bassins facultatifs de la filière d'épuration (F4 et F5) a diminué le temps de séjour total à 25.5 jours (figure 2).

Le bassin anaérobie est alimenté avec un débit de 5 l/s. Seul un débit de 2 l/s traverse l'ensemble de la filière d'épuration par lagunage. Le reste du débit, soit 3 l/s, alimente après une simple décantation, une lagunage à haut rendement (LHR) (voir section 6.2.1.5.) et des essences forestières.

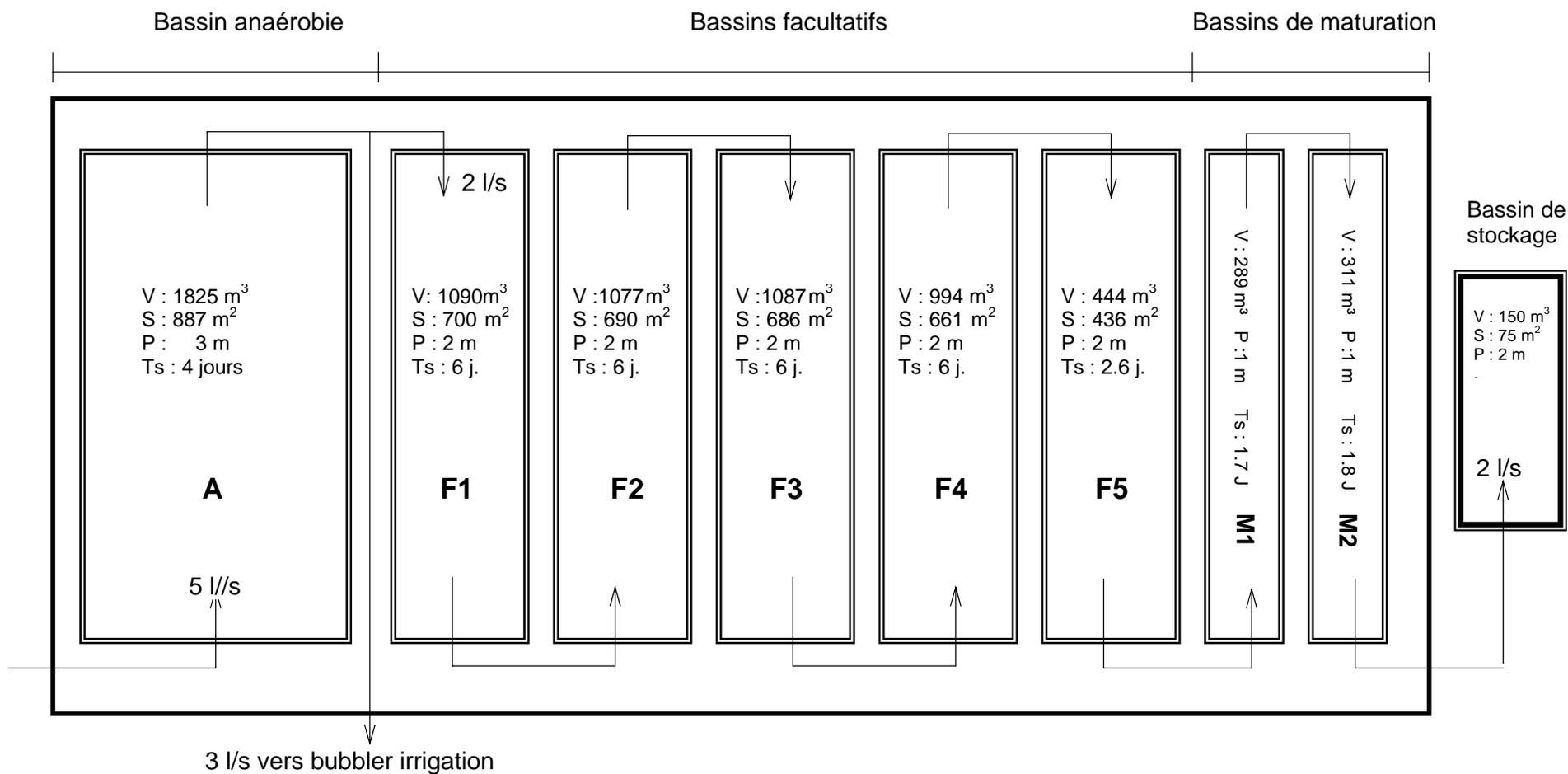
Performance de la station d'épuration par lagunage

- L'épuration des eaux usées dans les bassins de stabilisation sous les conditions climatiques de Ouarzazate et un temps de séjour de 25 jours conduit à un effluent de catégorie A de la directive de l'OMS (moins de 1000 CF/100 ml et moins d'un œuf d'Helminthes).
- La superficie requise par équivalent habitant est de 4 m². Elle diffère des 10 m² généralement utilisés en dimensionnement au Maroc.
- Les performances de la filière d'épuration sont conformes à ce qui est attendu en ce qui concerne les caractéristiques physico-chimiques de l'eau: 80% en DBO₅, 72% en DCO, 28% en matières en suspension. L'abattement en DBO₅ s'est avéré indépendant de la température. L'effluent sort de la station pilote avec une DBO₅ non filtrée de l'ordre de 60 mg/l en moyenne, compatible avec l'usage de l'eau en irrigation. Le tableau 24 montre les résultats des analyses physico-chimiques des eaux obtenue lors de la première phase du projet.
- Le taux spécifique d'accumulation des boues obtenues est de 0,03 m³/hab/an, valeur légèrement inférieure à celle rapportée par la littérature (0,04 m³/hab/an).

Figure 2 : Bassins de lagunage de la station d'épuration pilote de Ouarzazate

Filière avant raccourcissement : Ts = 34.1 jours

Filière après raccourcissement : Ts = 25.5 jours



Caractéristiques des eaux d'irrigation

- Les résultats d'analyse (tableau 24) montrent que l'eau usée brute et l'eau usée épurée sont moyennement salines et l'eau du puits fortement saline. Sa conductivité électrique est en moyenne de 4,13 mmhos/cm. Les trois types d'eau présentent un risque moyen en ce qui concerne le sodium, élevé à très élevé s'agissant de la salinité. Il n'y a aucune restriction au niveau de l'infiltration de l'eau dans le sol.
- La teneur élevée des sels dans les eaux compense l'effet néfaste du Na sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol (voir figure 1, section 6.1.6.).
- Les concentrations en sodium et en chlore sont très élevées, entraînant des risques de toxicité importants, même en irrigation de surface. Les trois types d'eau entrent dans la catégorie des eaux d'irrigation avec un fort degré de restriction.

TABLEAU 24: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX UTILISEES POUR L'IRRIGATION

Paramètres	Eau puits témoin			Eau usée brute			Eau usée épurée		
	moy	Max	min	moy	max	Min	moy	max	min
pH	7.25	7.37	7.16	7.52	7.60	7.38	8.34	8.62	7.80
Ce (mmhos/cm)	4.13	4.94	3.60	2.62	2.95	2.15	2.59	2.92	2.17
P-PO ₄ (mg/l)	0.34	0.53	0.24	19.29	24.9	16.3	12.47	16.7	9.80
N-NH ₄ (mg/l)	0.92	1.50	0.30	35.23	38.4	31.8	20.10	25.8	13.4
N-NO ₃ (mg/l)	5.46	5.74	4.90	1.96	2.50	0.72	1.38	1.70	0.86
N-NO ₂ (mg/l)	0.03	0.06	0	1.85	2.20	1.50	0.41	0.48	0.35
SO ₄ (méq/l)	14.22	21.4	11.0	5.08	12.9	3.0	7.82	12.5	6.83
Cl ⁻ (méq/l)	20.88	22.8	14.3	12.67	14.1	7.18	13.19	13.9	6.23
Ca ⁺⁺ (méq/l)	11.51	13.2	8.87	6.86	7.87	6.10	7.52	8.70	7.24
Mg ⁺⁺ (méq/l)	8.91	9.21	8.52	5.97	6.96	5.05	6.84	7.90	5.57
K ⁺ (méq/l)	0.59	0.70	0.50	0.66	0.78	.55	0.74	0.93	0.59
Na ⁺ (méq/l)	23.0	25.4	19.7	15.13	17.8	13.5	15.99	17.4	13.8
SAR	7.19	8.56	6.40	5.97	6.53	5.52	5.96	6.53	5.65

Source : Xanthoulis, 1996

Les résultats agronomiques de la réutilisation des eaux usées épurées

- Les cultures testées dans le cadre du projet sont la luzerne, le maïs, la courgette, la fève, le concombre, le pois, la tomate et le navet. La moitié des parcelles est consacrée à la culture de la luzerne, l'autre moitié aux cultures annuelles qui se succèdent dans le temps.
- Les eaux épurées sont moins salines que les eaux du puits témoin. Salinité moins élevée et présence de fertilisants dans les eaux usées épurées sont les deux facteurs qui justifient les rendements plus élevés.
- Les parcelles irriguées au moyen d'eau de puits ont montré une diminution très importante de leur productivité, que ce soit au niveau du peuplement, de la floraison, de la fructification ou de la maturation des fruits. Les baisses de rendement se sont intensifiées au cours du temps pour atteindre des valeurs de 100% pour les dernières cultures étudiées.

- En réalité, la plupart des problèmes rencontrés n'étaient pas liés à l'utilisation des eaux usées mais bien à la maîtrise des systèmes d'irrigation et au niveau élevé de salinité des eaux d'irrigation.

- Globalement, il ressort que le système d'irrigation au goutte à goutte donne le meilleur rendement par rapport aux autres modes d'irrigation parce qu'il permet de mieux maîtriser la salinité.

- L'apport d'azote par l'eau usée épurée est suffisant pour couvrir les besoins de la plupart des cultures.

Impact de la réutilisation sur la qualité physico-chimique du sol

- Les eaux d'irrigation, à forte charge minérale, ont de fortes concentrations en sodium et en chlore. Cette caractéristique n'est pas propre aux eaux usées mais bien à l'ensemble des ressources hydriques de la zone. Outre leur toxicité directe sur les plantes, ces éléments, en s'accumulant dans les horizons superficiels, peuvent provoquer des déséquilibres dans les balances ioniques, occasionnés par la perte d'éléments fertilisants.

- L'irrigation des parcelles d'essai pendant trois ans avec des eaux usées n'a eu aucun effet sur la teneur en métaux lourds du sol des parcelles d'essai.

Impact de la réutilisation sur la qualité physico-chimique de la nappe

- D'une manière assez générale, l'ensemble des échantillons prélevés à la fin des essais, attestent d'une concentration élevée en N-NO₃ dans les eaux de la nappe. Avec des valeurs dépassant fréquemment le seuil de potabilité de 11 mg/l (c-à-d 50 mg/l de NO₃⁻, limite recommandée par l'OMS pour une eau potable), cette eau ne peut pas servir à l'alimentation humaine ou animale.

- La contamination des eaux souterraines par les nitrates a été observée. Les nitrates lixiviés à partir du sol proviennent essentiellement de la minéralisation intense de l'azote organique natif du sol et des apports par les eaux usées qui en général, dépassent largement les besoins de la plante. Plusieurs mesures peuvent être prises pour atténuer ce problème. Par d'exemple, on peut choisir des cultures qui consomment d'importantes quantités d'azote (plantes à coupes multiples ou à enracinement profond, éviter les légumineuses) ou mélanger les eaux usées avec des eaux conventionnelles avant leur application. Il est clair que le moyen le plus efficace est le contrôle de la dose et de la fréquence des arrosages afin de maîtriser les apports d'azote par l'eau et la percolation en profondeur responsable de la lixiviation des nitrates.

- Les concentrations en éléments traces trouvées dans les eaux de la nappe sont très faibles et sont situées bien en dessous des valeurs maximales admissibles. Les concentrations relevées dans le puits témoin n'ont pratiquement pas été modifiées après deux ans et demi d'irrigation avec des eaux usées.

La qualité microbiologique et parasitologique des produits agricoles

Le tableau 25 synthétise les résultats obtenus lors de la première phase du projet. Il regroupe les cultures selon le type et donne les moyennes par groupe. Seuls les chiffres relatifs à l'irrigation gravitaire ont été analysés parce qu'il permettent une comparaison complète englobant l'eau brute.

- La contamination par les coliformes et par les streptocoques fécaux suivent les mêmes tendances et reflètent ainsi l'évolution logique attendue : le degré de contamination augmente lorsqu'on passe de l'eau témoin à l'eau brute ; la contamination résultant de l'utilisation des eaux épurées étant intermédiaire.

- Le degré de contamination observé chez les cultures à feuillage touffu et dense comme la luzerne était supérieur à celui des cultures à feuillage épars comme la fève et le pois. Ces dernières permettent au rayonnement solaire d'atteindre le fruit ce qui entraîne un effet létal de ce rayonnement sur les germes. Cet effet est conjugué dans le cas de la fève et du pois au port dressé qui minimise le contact entre l'eau d'irrigation et le fruit.

- Le degré de contamination relativement bas du navet, culture dont l'organe récolté est une racine, est surprenant. Malgré le fait que le contact avec l'eau d'irrigation est direct et que l'effet "rayonnement solaire" n'existe pas, la contamination reste réduite probablement pour deux raisons principales: le nombre relativement réduit d'irrigations appliquées et l'entraînement en profondeur, loin de la zone racinaire, des germes par les eaux de pluies.

TABLEAU 25: CONTAMINATION PAR LES COLIFORMES ET LES STREPTOCOQUES FECAUX DES DIFFERENTS TYPES DE CULTURES MENEES SUR LE SITE DU PROJET. (EXPRIME EN NOMBRE DE GERMES/ GR DE POIDS FRAIS)

	Coliformes fécaux			Streptocoques fécaux		
	EUB	EUE	TEMOIN	EUB	EUE	TEMOIN
Culture à feuillage touffu et dense : Luzerne						
1991	1000	600	500	1100	400	20
1992	4066	853	423	4266	1866	296
1993	2326	1160	576	1160	1096	673
Moyenne	2460	870	500	2175	1120	330
Culture à port rampant						
Concombre	1260	650	*	1030	600	*
Culture à port dressé et feuillage épars						
Tomate	17	11	7	18	15	12
Fève	8	0	0	30	0	0
Pois	20	14	5	12	10	6
Moyenne	15	8	4	20	8	6
Culture de type de racine						
Navet	17	12	3	29	13	6

Source : Plaquette sur la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. Projet MOR 86/018, 1990

EUB : Eau Usée Brute ;

EUE : Eau Usée Épurée ;

Témoin : Eau de puits.

* Production nulle à cause de la salinité de l'eau témoin

- Les suivis ont généralement confirmé l'effet exposition au rayonnement solaire consécutif à l'utilisation des systèmes d'irrigation aériens sur la réduction du nombre de germes contaminants par comparaison avec les systèmes d'irrigation non aériens comme le goutte à goutte et le gravitaire.

La qualité microbiologique et parasitologique du sol et de la nappe

- L'utilisation d'eau usée brute peut conduire à de fortes contaminations du sol par des bactéries fécales, même jusqu'à des profondeurs atteignant 1m. En surface, on remarque que cette contamination diminue très vite après la récolte, pour atteindre des niveaux tout à fait satisfaisants 15 jours après la récolte.

- En ce qui concerne la contamination par les œufs d'helminthes, seules les parcelles 'eau usée brute' ont été contaminées. Les parcelles 'eau épurée' ou témoin sont restées exemptes d'œufs d'helminthes. Aucune migration d'œufs en profondeur dans les parcelles 'eau usée brute' n'a été observée.

- Enfin, sur les sols limoneux rencontrés à Ouarzazate, la contamination bactérienne ne dépasse jamais la profondeur des premiers 25 cm pour les parcelles irriguées avec de l'eau usée épurée, ce qui écarte tout risque de contamination de la nappe aquifère. Sur sol sableux, on devrait s'attendre à une contamination plus en profondeur.

- En ce qui concerne les œufs d'helminthes, il s'est avéré que les eaux usées brutes contaminent légèrement les sols, mais sur une profondeur ne dépassant pas les 25 premiers cm du profil; les parcelles irriguées au moyen d'eau usée épurée en sont, bien logiquement, complètement dépourvues.

- Les suivis biologiques effectués sur le puits de la station permettent d'affirmer que la qualité des eaux souterraines n'a pas été altérée par le déroulement du projet. Cependant, cette conclusion doit être considérée dans le contexte d'un projet de petite taille qui a duré quatre années en tout. Il se pourrait qu'il en soit autrement si les parcelles irriguées étaient plus étendues et si la durée d'application des eaux usées brutes notamment était prolongée. Il est évident que dans ce type de pollution, la profondeur de la nappe est un élément important à prendre en considération.

Les boues résiduaires

- Les bassins anaérobies doivent être vidangés annuellement des 2/3 de leurs boues. Afin de conserver une partie de la biomasse active, il doit rester en permanence dans le bassin anaérobie environ 1/3 du volume des boues.

- Les boues d'épuration constituent un amendement agricole intéressant qui améliore la fertilité des sols agricoles. La faible teneur en métaux lourds des boues de Ouarzazate permet leur utilisation comme amendement en agriculture.

- Les boues doivent être utilisées avec précaution car c'est dans celles-ci que se concentrent, par sédimentation, les œufs de parasites et les métaux lourds. Avant épandage, ces boues doivent donc subir un traitement préalable pour les débarrasser des parasites. Ce traitement peut être un simple séchage des boues sur lits de

séchage. Après 8 mois de séjour dans les lits de séchage, les œufs de parasites ont complètement disparus des boues.

Impact sur le matériel d'irrigation

Les essais menés sur les distributeurs ainsi que les précautions prises pour limiter les problèmes liés au bouchage dans le cas de l'utilisation des eaux usées conduisent à dégager les pratiques suivantes :

1) Le réservoir de stockage d'eau

- Le fond du réservoir doit être légèrement surélevé par rapport au niveau du terrain naturel pour faciliter son curage sans recourir au pompage.
- La pose de la crépine à 50 cm du fond du réservoir favorise la décantation des matières en suspension.

2) Le filtre à sable

- Le diamètre moyen du sable doit être équivalent ou inférieur au diamètre des distributeurs utilisés, puisque le filtre à sable arrête toutes particules dont la dimension est supérieure au 1/10 du diamètre du granulat utilisé.
- Le nettoyage du filtre à sable doit s'effectuer lorsque la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre atteint 0.8 à 1 bar.
- Le sable doit être changé lorsque la perte de charge dans le filtre atteint 0.5 à 0.6 bar après son nettoyage .

3) Le filtre à tamis

- Un filtre à tamis doit être installé à l'aval du filtre à sable pour arrêter les grains de sable entraînés par l'eau. Il doit être lavé lorsque la différence de pression entre l'amont et l'aval atteint 0.8 bar. La taille des mailles du tamis doit être au plus égal à 80% du diamètre des particules qui s'échappent du premier filtre.

4) Les rampes

- Les rampes doivent être purgées régulièrement à une fréquence minimale hebdomadaire afin d'évacuer les particules qui se déposent sur le fond et aux extrémités.

5) Les distributeurs

- Les distributeurs doivent avoir un diamètre supérieur à 1 mm. Les distributeurs à jet tournant sont à proscrire car l'élément tournant est parfois bloqué par les toiles d'araignée ou les éléments organiques transportés par les eaux usées.

6) L'organisation et précautions

- Pendant les opérations de labour ou de récolte les rampes doivent être déplacées et rangées avec précaution, en veillant à ce que les orifices des distributeurs soient

tournés vers le haut pour éviter que des particules de sol n'adhèrent aux distributeurs.

- L'irrigation doit être effectuée chaque jour ou tous les 2 jours pour limiter le développement des algues à l'amont immédiat des distributeurs.

7) Irrigation par aspersion

- La fréquence de colmatage des asperseurs utilisant l'EUE est 7.2 fois supérieure à la fréquence de colmatage des asperseurs utilisant l'EPT. L'uniformité d'arrosage des premiers est légèrement inférieure à celle des seconds. Pour éviter ce problème, il faut procéder à une préfiltration sommaire des eaux épurées pour arrêter certains

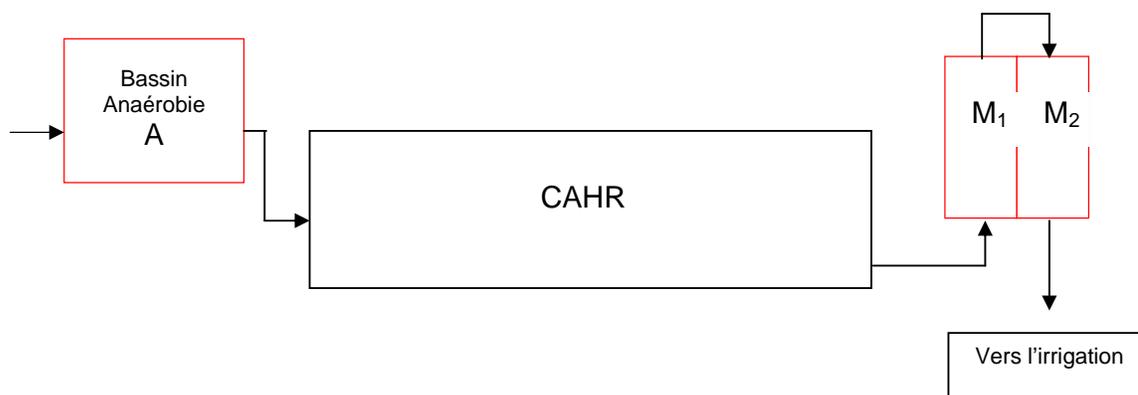
6.2.1.5 Filière lagunage à haut rendement (LHR)

A côté de la station d'épuration par lagunage présenté ci-avant, le site de Ouarzazate héberge également une filière lagunage à haut rendement (LHR). Cette filière est composée d'un bassin anaérobie, d'un chenal algal à haut rendement (CAHR) et de deux bassins de maturations dont les caractéristiques sont reprises au tableau 26 et figure 3 (Plaquette du Ministère de l'agriculture, 1998).

TABLEAU 26: CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTES DE LA FILIERE LHR.

	Volume (m3)	Profondeur (m)	Surf (m ²)	Ts (j)
Anaérobie (A)	1826	3,0	887	4,2
CAHR	1209	0,4	3023	2,8
Maturation (M1)	400	1,0	400	0,9
Maturation (M2)	400	1,0	400	0,9
Total	4771		3670	21,9

Figure 3 : Schéma hydraulique de la filière lagunage à haut rendement (LHR)



Le CHAR est formé de canaux de 3,7 m de large, 0,45 m de profondeur et d'une longueur totale de 817 m. La superficie totale est de 3023 m² où l'eau est maintenue en circuit fermé pendant un temps de rétention hydraulique de 8,8 jours. L'effluent est agité en permanence grâce à une roue à palettes mue par un moteur électrique.

L'action du CAHR dans l'épuration se manifeste dans le prélèvement de pratiquement 50% des éléments eutrophisants N et P. Sur le plan de la désinfection, son efficacité est réduite puisqu'il réalise seul, un abattement de 0,54 U.Log en comparaison de 3,65 U.Log opéré sur la totalité de la filière (tableau 27).

TABLEAU 27 : MOYENNES ANNUELLES DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES A L'ENTREE ET A LA SORTIE DES COMPOSANTES DE LA FILIERE LHR.

Paramètres	Entrée	Sortie					
		A	TA	CAHR	TA	BM	TA
T (°C)	23,1	21,6	-	20,6	-	21,4	-
MES	190	140	26	200	-	190	-
pH	7,57	7,68	-	9,28	-	9,2	-
Oxygène Dissous (mg/l)	0	0	-	20,3	-	16,2	-
Chlorophylle a (mg/l)	-	-	-	4,9	-	3,9	-
DBO ₅ (mg/l)	340	155	55	118	65	115	
DCO (mg/l)	500	220	56	173	65	170	66
N-NH ₄ ⁺	37,4	34,0	9	19,4	48	15	60
P-PO ₄ (mg/l)	20,2	15,2	25	9,2	54	8,8	56
Coliformes fécaux /100 ml	4,1.10 ⁶	5,1.10 ⁵	0,90	1,5.10 ⁴	1,44	0,91	3,65
Œufs d'helminthes/litre	13	1	92	0	100	0	100

Source : Plaquette, Ministère de l'Agriculture, 1998

TA : Taux d'abattement (%) ; TA des coliformes fécaux exprimé en unités Logarithmiques ; A : effluent à la sortie du bassin anaérobie ; CAHR : effluent à la sortie du CAHR; BM : effluent à la sortie du 2^{ème} bassin de maturation ; DCO : Demande Chimique en Oxygène ; DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène.

La concentration moyenne annuelle en CF de l'effluent est inférieure à 1 000 CF/100 ml et les œufs d'helminthes sont totalement absents de l'effluent. L'effluent peut donc être classé dans la catégorie A désignant les eaux destinées à irriguer les denrées pouvant être consommées à l'état cru (OMS, 1989). L'analyse des résultats mensuels montre que la concentration en CF de l'effluent dépasse les 1 000CF/100 ml pendant les trois mois les plus froids de l'année (décembre à février). Pendant cette période, l'effluent est donc de catégorie B selon les directives de l'OMS, ce qui interdit l'irrigation de denrées destinées à être consommées à l'état cru. Des effluents de catégories B pendant cette période hivernale ne pose pas de problème éta&nt donné que cette période coïncide avec une faible demande climatique des cultures et ne nécessite pas généralement le recours à l'irrigation. Dans ce cas, le stockage de ces eaux permettrait de conserver la ressource et d'améliorer la qualité microbiologique.

6.2.2 Station d'épuration de Ben Slimane

Historique et aspect institutionnel

Les travaux de réalisation de la station d'épuration de Ben Slimane (58 000 Eq.H) ont démarré en septembre 1995. Mise en eau depuis juillet 1997, la station d'épuration des eaux usées de Ben Slimane, située environ à 50 km de la ville de Rabat est le fruit d'un partenariat en matière d'assainissement liquide entre la Municipalité de Ben Slimane, l'ONEP et la société MILD. Soutenu financièrement par le gouvernement canadien, ce projet s'inscrit dans la stratégie globale qui vise la protection de l'environnement et l'économie de l'eau à travers la réutilisation des eaux épurées à des fins d'irrigation du parcours des terrains de golfs, des espaces verts de la ville de Ben Slimane et éventuellement des terrains agricoles riverains.

Le laboratoire central de l'ONEP et la société MILD ont assuré simultanément le suivi des performances de la STEP pendant l'année 1998. Les résultats de cette intervention sont les suivants :

- La qualité physico-chimique de l'effluent épuré en terme de DBO%, DCO et MES est satisfaisante vis-à-vis des Clauses Techniques particulières du Cahier des Prescriptions Spéciales relatif de la station de Ben Slimane ;
- Les résultats des analyses bactériologiques et parasitologiques des eaux usées épurées après un temps de séjour de 35 à 40 jours au niveau des réservoirs opérationnels, sont très satisfaisants au regard des Directives de l'OMS sur à l'arrosage des terrains de golf ; et
- Les performances des ouvrages exprimés en termes d'abattement de la pollution sont suffisamment appréciables.

La station de Ben Slimane paraît représenter une technique de pointe permettant la réalisation des performances épuratoires élevées quant à l'abattement de la pollution organique et microbiologique.

Il s'agit d'une station à lagunage aéré, elle est conçue pour un débit de 5 600 m³/j et traite actuellement 4 000 m³/j. Le projet a entraîné un investissement de 94 MDH, y compris le coût du terrain qui s'élève à 5 MDH, soit 2 542 DH/Eq.H.

Suivi et contrôle

Le suivi analytique est effectué selon un rythme hebdomadaire, dans un laboratoire sur place. Ce laboratoire est bien équipé pour réaliser diverses analyses physico-chimiques, microbiologiques et parasitologiques.

Tâches de gestion

La gestion de la station est faite par un groupe composé d'un Ingénieur Directeur de la station, d'un licencié chef de laboratoire, d'un technicien pour l'électricité, d'un technicien pour la mécanique et deux ouvriers gardiens. La station dispose d'un manuel d'exploitation.

Parmi les tâches de gestion, on trouve: ouvrages de prétraitement, système d'aération, pompage, relevage, suivi analytique, contrôle des débits, ouverture et fermeture des vannes, entretien de la STEP, jardinage, traitement insecticide.

Type d'entretien

L'entretien concerne le dégrillage automatique, le dessablage, les chambres de distribution, les ouvrages d'entrée et de sortie, les stations de pompage et relevages, les vannes et le local technique.

Assainissement

La ville de Ben Slimane est dotée d'un réseau d'assainissement de type unitaire de 32 km qui dessert 80 % de la population.

Description technique de la station

La station d'épuration de Ben Slimane comporte un système de lagunage aéré. La filière épuratoire de la station se compose:

- d'un dégrillage et d'un dessablage automatique
- de 5 bassins de décantation anaérobies de 3 500 m³ chacun,
- de 4 lagunes aérées d'une capacité de 5 000 m³ chacune
- de 4 bassins facultatifs (2x 20000m³ + 2x 13000 m³)
- de 4 bassins de stockage (profondeur : 5 m) d'un volume de 75 000 m³ chacun,
- les eaux épurées seront traitées par le chlore (en cas de besoin) avant leur utilisation pour l'irrigation.

La superficie totale de la station est de l'ordre de 25 ha. Le temps de séjour des eaux dans les bassins de décantation anaérobies est de l'ordre de 2,5 jours. Le temps de séjour total est de 30-40 jours.

L'entrée des eaux usées se fait par une buse inclinée vers le fond du bassin. A la sortie des bassins, on trouve des vannes à cloisons siphonides pour bloquer les boues flottantes.

Mauvaises odeurs et bulles de gaz

Les mauvaises odeurs du biogaz produit dans les 4 bassins de décantation fonctionnant actuellement posent un problème de nuisance à la station. Les bulles de gaz sont bien visibles au milieu de la surface des 4 bassins anaérobies.

Vidange des boues

Le curage des bassins anaérobies est prévu après 5 ans de fonctionnement. Ce curage peut être fait par des pelles mécaniques, des pompes à boue ou par des hydrocureuses.

Résultats d'analyses des eaux usées (1997)

Le tableau 28 ci-dessous reprend la moyenne des résultats d'analyses des 3 mois de fonctionnement (juillet, août et septembre 97) et les performances épuratoires aux différentes étapes de l'épuration.

TABEAU 28 : RESULTATS D'ANALYSES ET PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATION DE BEN SLIMANE.

Paramètres	Eaux brutes	Bassins Anaérobies	Bassins aérées	Bassins facultatifs	Bassins de stockage
Résultats d'analyses					
DBO5 (mg/l)	350	165	80	43	13
DCO (mg/l)	750	370	180	85	25
CF (N/100 ml)	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	Non détecté
Performances épuratoires					
DBO5 (%)		52,8	51,5	46,3	69,8
DCO (%)		50,7	51,4	52,8	70,6
CF (U. log)		1	1	1	Proche de 100 %

Source : (Echihabi et al., 1999)

Performances relevées en 1999 (Echihabi, 1999)

- Les eaux épurées répondent aux Recommandations de l'OMS concernant l'arrosage des terrains de golf (situés à proximité),
- Les effluents sont très bien assainis : moins de 20 Coliformes Fécaux pour 100 ml. Pas d'helminthes.
- DBO5effluents : 10 à 60 mg/l (25% dépassent 30 mg/l)
- DCOeffluents : 25 à 150 mg/l, MES < 45 mg/l .

Réutilisation des eaux épurées

Les eaux épurées seront vendues pour la réutilisation par les agriculteurs et l'irrigation d'un terrain de golf royal près de la station.

Données d'exploitation

Le prix de revient de la station sera partagé en 30 % pour le coût du personnel, 10 % pour les frais généraux, 10 % d'énergie, 10 % des frais des analyses et 40 % pour les frais d'entretien.

Le prix de vente prévu des eaux épurées est proche de celui d'exploitation, il varie de 1,50 DH à 3,00 DH/m³ selon la quantité d'eau épurée.

Problèmes rencontrés

Parmi les problèmes rencontrés, on trouve (GTZ,1997):

- les mauvaises odeurs du biogaz produit au niveau des bassins anaérobies
- développement des algues bleues *Microcystis aerogenosa* dans les bassins de stockage. Ceci est dû au rapport PO₄³⁻/NO₃⁻ en faveur des PO₄³⁻,
- des moustiques *Cheronomus timu timu*.

6.2.3 Le projet pilote de Ben Sergao

La description ci-dessous correspond aux données extraites

- 1) du rapport édité en 1997 par le projet GTZ - CDER, la Wilaya d'Agadir, la RAMSA (Agadir), l'ORMVASM, la DRH Agadir et l'Université de Karlsruhe (RFA),
- 2) du rapport « évaluation des performances du fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de Ben Sergao », ONEP, Mars 1996
- 3) de la plaquette "Treating waste water and its use in agriculture – case of Ben Sergao", IAVHII, ORMVA-SM, RAMSA, sans date.

Aspects sociaux et écologiques

Avant la construction de la station d'épuration des eaux usées de la commune de Ben Sergao, les eaux usées de cette agglomération s'écoulaient sans aucun prétraitement vers le Village d'Aghrouth juste derrière la station, à proximité de Clubs de vacances, d'un terrain de golf, d'hôtels, d'une école primaire et de petits champs d'agriculture des paysans qui habitent cet endroit. Les gens utilisaient directement les eaux usées brutes pour irriguer leurs champs de culture (maraîchage, céréales, ...).

Depuis 1989, la station de Ben Sergao traite une partie des eaux usées de cette agglomération. L'autre moitié s'écoule vers une lagune des eaux pluviales pour s'infiltrer ensuite partiellement dans le sol et déborder dans des conduits pour être déversées dans un petit bois d'eucalyptus.

Description de la station de Ben Sergao

La station d'épuration des eaux usées de Ben Sergao a été conçue pour traiter un débit de 750 m³/j (10.000 Eq. Habitants), soit la moitié des eaux usées de l'agglomération actuelle de la Commune de Ben Sergao. L'écoulement se fait gravitairement; de l'amont vers l'aval, la filière d'épuration comprend les étapes suivantes (figure 4):

- Un déversoir d'orage placé à l'entrée de la station qui fonctionne au-delà d'un débit instantané de 50 l/s,
- un prétraitement initial (dégrillage grossier),
- un traitement primaire par décantation anaérobie,
- un bassin tampon destiné à retenir les eaux décantées temporairement afin de les évacuer par bâchées à fort débit vers les bassins d'infiltration,
- cinq bassins d'infiltration drainés,
- un système d'évacuation des eaux épurées après passage dans un bac de prélèvement et de jaugeage.

Les écoulements entre ouvrages sont assurés par des caniveaux ouverts en béton. Les eaux de pluies sont évacués par un chenal vers une lagune préexistante où ils s'infiltreront partiellement.

Dégrillage

Le dégrillage est placé à la sortie du déversoir d'orage et élimine les matières grossières flottantes de l'effluent. L'enlèvement des résidus retenus par la grille s'effectue manuellement et quotidiennement à l'aide d'un simple râteau.

Bassin de décantation anaérobie

Le bassin de décantation a une capacité de 1500 m³, une profondeur de 3 m et un temps de rétention hydraulique de deux jours. Une partie du bassin, approfondi à 4 m, est destinée au stockage des boues sédimentées. Son rôle est de diminuer la charge organique à l'entrée des bassins d'infiltration. L'extraction des boues se fait tous les 15 à 16 mois.

Bassin de stockage

Le bassin de stockage a été dimensionné pour accumuler 250 m³ des eaux usées provenant du décanteur anaérobie. Il s'agit d'un ouvrage étanche bétonné, muni en sortie d'une vanne manuelle. L'évacuation du bassin de stockage vers les filtres à sable est effectuée par bâchées trois fois par jour.

Les filtres à sables

Cinq bassins de 1500 m² de superficie, remplis de 2 mètres de sable, sont alimentés successivement par des bâchées de 250 m³. Chaque jour, 750 m³ sont épandus sur 3 des 5 bassins. Chaque bassin reçoit une bâchée par jour pendant 3 jours et est mis au repos pendant 2 jours.

La surface du filtre retient la quasi-totalité des matières en suspension de l'effluent et des plus micro-organismes pathogènes (parasites); les particules plus fines sont bloquées au niveau des pores du sable ou fixées par adsorption.

L'ensemble des processus d'oxydation chimique et bactérienne est sans cesse réactivé par la réoxygénation du milieu granulaire provoqué par les bâchées suivies de phase de repos. Pour augmenter l'aération du massif sableux par sa base, à l'extrémité amont de chaque drain a été placée une cheminée d'aération en PVC, en prolongement des drains.

Une partie des eaux épurées est utilisée pour une expérimentation de réutilisation en irrigation, le reste est canalisé vers des champs d'agriculteurs et une forêt d'eucalyptus où il s'infiltré.

Gestion et entretien

Les tâches de gestion et d'entretien courants sont principalement les suivantes:

- manœuvre des vannes et nettoyage de la grille à l'entrée des eaux usées,
- ratissage et balayage périodique de la surface des bassins d'infiltration,

- nettoyage des circuits d'arrivée des eaux brutes,
- récupération des flottants à la surface du décanteur (avant le montage des gazomètres),
- entretien de la végétation,
- tenue du journal d'exploitation et des documents de gestion hydraulique.

Filtres à sable

Le principe de gestion adopté est le suivant:

- 3 bâchées par jour sur 3 bassins différents,
- chaque bassin reçoit une bâchée pendant 3 jours consécutifs puis est mis au repos pendant 2 jours,
- les bassins sont ratissés périodiquement (le premier jour du repos),
- l'enlèvement des dépôts de surface (1 à 2 cm) n'a lieu qu'une fois par an environ.

Bassin de décantation anaérobie

Les boues, solides et bien stabilisées, sont extraites du bassin de décantation par pelle mécanique tous les 16 mois environ soit après le traitement de près de plus de 500 000 m³ d'effluents. A chaque opération on extrait environ 100 m³ de boues humides transportées par camion.

D'après les résultats des essais, l'application de la boue comme substrat de culture a montré de bons rendements sur gazon. Le compostage aéré de la boue a permis d'éliminer les oeufs de parasites et a amélioré sa qualité physico-chimique.

Performances physico-chimiques et microbiologiques moyennes

Contrairement aux stations des pays industrialisés qui sont dimensionnés pour éliminer les matières organiques, l'épuration ici, a pour objectif d'éliminer au maximum les germes pathogènes et de conserver les matières nutritives (organiques et minérales) utilisées par les plantes après irrigation.

La moyenne des résultats et des abattements enregistrés depuis 1990 sont consignés dans le tableau 29. Les analyses physico-chimiques sont effectués mensuellement par le laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique (DRH) d'Agadir.

Les analyses microbiologiques sont effectuées mensuellement au laboratoire d'analyse du Ministère de la Santé Publique d'Agadir.

Pour la période allant de 1990 à 1995, les taux d'élimination de l'ensemble de la filière, est supérieure à 99% en matière en suspension, plus de 97% en DBO₅ et plus de 95% en DCO. Tous les parasites sont éliminés et les coliformes sont efficacement réduits; les eaux épurées sont de Classe A (OMS) et peuvent être utilisées sans restriction pour l'irrigation de toutes les cultures (plantes ornementales, gazons et cultures maraîchères) (IAVHII, DRH et Province Médicale Agadir, cité par GTZ, 1997).

L'ONEP (ONEP, 1996) a analysé le fonctionnement de la station pendant la période allant de Décembre 93 à Janvier 95 (11 analyses ponctuelles). Les conclusions de cette étude diffèrent des résultats données par la source précédente :

- la qualité des eaux en termes de MES et de DBO5 et DCO est satisfaisante. Les teneurs des effluents vont de 3 à 10 mg DBO₅/l, 15 à 40 mg DCO/l, et 2 à 19 mg MES/l. Au niveau bactériologique, les œufs d'helminthes sont éliminés totalement et la pollution bactérienne (CF) est réduite de 5 Ulog. Mais dans 50% des cas (8 analyses effectuées) la qualité bactériologique est inférieure à la limite des recommandations de l'OMS pour une irrigation sans restrictions (1000 CF/100 ml). Les meilleures analyses donnent 230 CF/100 ml, la plus mauvaise atteignant $4,6 \cdot 10^5$.
- Le système ne semble pas supporter les surcharges polluantes et les à-coups dus aux eaux pluviales.
- Les filtres à sable se colmatent dans les couches superficielles tous les 6 mois, alors que ce colmatage n'était qu'annuel entre 1992 et 1993. Il est donc recommandé de scarifier la couche supérieure colmatée avec ajout de sable sur la couche décapée.
- Une tendance à l'augmentation de la DCO dans les couches profondes du filtre à sable semble montrer que des matières minérales et organiques réfractaires se déplacent vers le fond, ce qui pourrait par la suite colmater le filtre en profondeur.
- L'ONEP recommande de suivre le développement éventuel des cheminements préférentiels dans les filtres à sable, ce qui pourrait expliquer des baisses de rendement épuratoire. La teneur en NH₄⁺ à la sortie de la station serait à suivre pour détecter éventuellement la réoxygénation incomplète (zones anaérobies) dans les filtres.

Aspects économiques

Le coût de la construction de la station s'est élevé à 4 000 000 DH (470 000 US \$), et a fait l'objet d'un financement apporté par les collectivités locales concernées (financement sur TVA pour les communes d'Agadir, Inezgane, Ait Melloul et Tikiouine) et géré par la Province d'Agadir; la coopération française a assuré la conception et le suivi technique spécifique.

TABLEAU 29 : RESULTATS DES ANALYSES DE LA STATION DE BEN SERGAO

	Période 1990 – 1995 ¹			Période 1994 - 1995 ²			1995 ³		
	Eaux brutes	Eaux décantées	Eaux épurées	Eaux brutes	Eaux décantées	Eaux épurées	Eaux brutes	Eaux décantées	Eaux épurées
MES (mg/l)	431	139	2,8	440	210	8			
DCO (mg/l)	1 189	505	52	1410	600	30	1073	451	46
DBO ₅ (mg/l)	374	190	10	600	200	10	347	132	2
NTK (mg N/l)	116	99	17	60	65	4	174	127	17
NO ₃ - (mg N/l)	0		251				0	0	157
NH ₄ ⁺ (mg N/l)				50	45	2			
N _{tot.} (mg N/l)	116		268						
P _{tot.} (mg/l)	26	24,5	15,8	13	16	6,4	28	25	18
CF(N/100 ml)	6,156.10 ⁶	4,96 10 ⁵	327	2,4.10 ⁹ 2.10 ¹⁰		2,3.10 ² 4,610 ⁵	5.10 ⁹	2.108	134
SF (N/100 ml)	2,09.10 ⁷	1,603 10 ⁶	346				7.107	6106	57
Oeufs Nématod. (Nbr./l)	139	32	0				139	32	0
Oeufs Cestodes (Nombre/l)	75	18	0				75	18	0
Oeufs Helminthes (Nombre/l)	214	47	0				214	47	<1

1: source: IAVHII, DRH et Province Médicale d'Agadir cité dans le rapport GTZ, 1997

2: source: Rapport « évaluation des performances du fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de Ben Sergao » Mars 1996

3: source: plaquette "Treating wasta water and its use in agriculture – case of Ben Sergao"

CF = Coliformes fécaux

SF = Streptocoques fécaux

Coût d'investissement et d'exploitation, valorisation économique

Le coût d'investissement est trois à quatre fois moins élevé que celui d'une station classique par boues activées de même capacité pour des performances d'élimination des germes pathogènes, nettement supérieures. L'entretien nécessite uniquement de la main d'œuvre non qualifiée.

Le coût d'exploitation de la station, maintenance, renouvellement et analyse de contrôle compris et frais généraux de gestion, est de 0,84 DH/m³ (0,1 US \$/m³) d'effluent traité (sur la base de 750 m³/j).

Le prix de vente potentiel des eaux épurées est estimé à 0,35 - 0,50 DH/m³ (0,041 - 0,059 US \$/m³).

Le Club Méditerranée et la Compagnie Générale des Eaux ont déjà proposé le triplement de la station d'épuration de Ben Sergao, en conservant le même principe, et d'en utiliser les effluents épurés pour l'irrigation du Golf du Club Méditerranée. La réalisation de ce projet permettrait de traiter la totalité des effluents produits par temps sec (1 500 m³/j) de Ben Sergao.

Il est important de noter que l'effluent traité de la station constitue dans cette région aride une ressource précieuse en eau pour l'irrigation et un apport non négligeable de fertilisants. L'utilisation du biogaz produit au niveau du bassin de décantation couvre les besoins en énergie de la station.

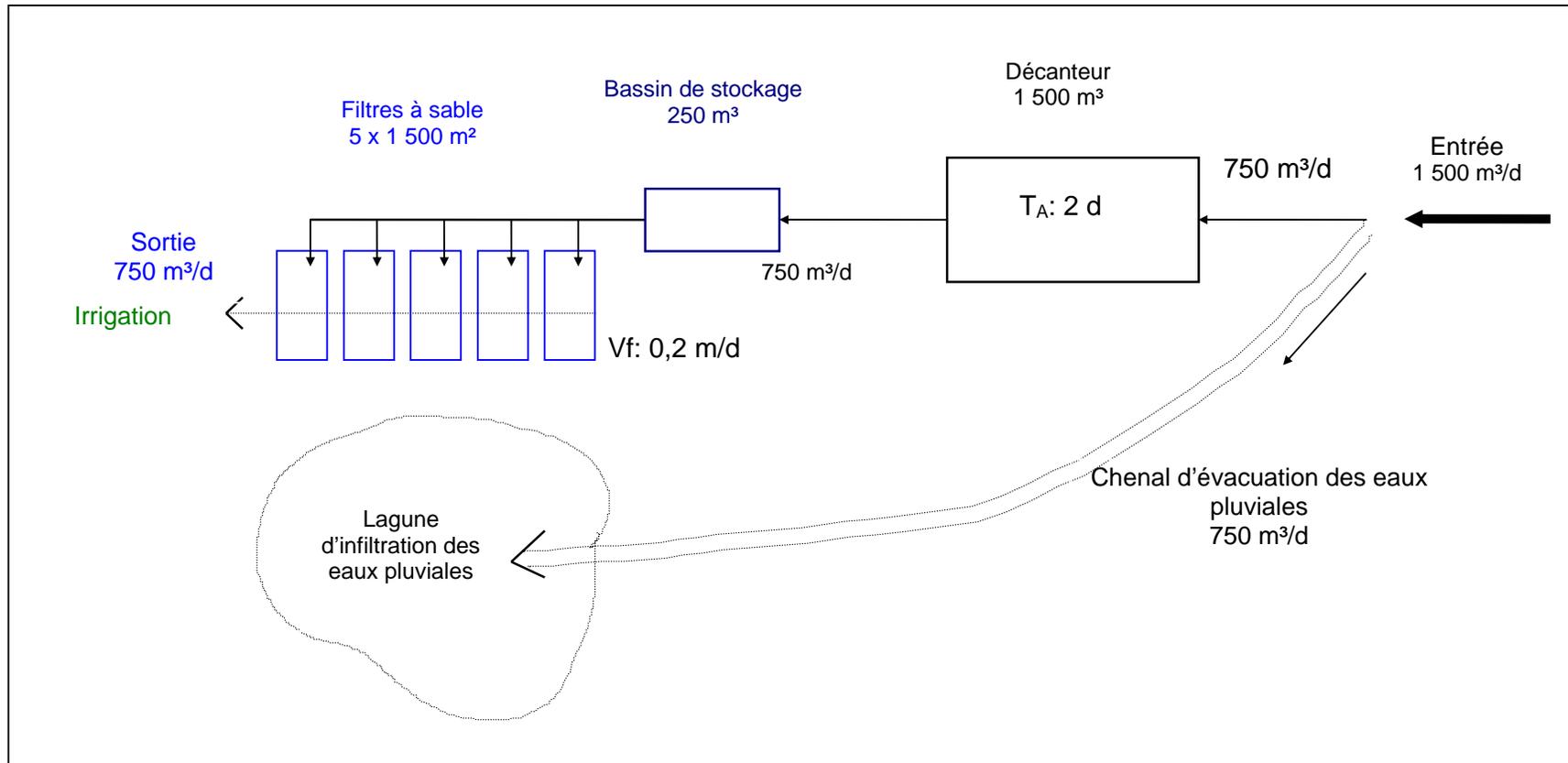
La station pilote de Ben Sergao a servi de modèle pour l'élaboration de la grande installation d'épuration d'Agadir.

Apport de fertilisants:

Les eaux épurées contiennent en moyenne 37 mg/l de K, 238 mg/l de Ca, 16 mg/l de P_t et 250 mg/l de N-NO₃. L'estimation de la quantité d'éléments fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100 mm est la suivante:

- Azote: 75 kg/ha,
- Phosphore: 14 kg/ha
- Potassium: 34 kg/ha.

Figure 4 : Schéma de la filière épuratoire de la station de Ben Sergao



6.2.4 La station de Drarga

La filière installée à Drarga est composée d'un dégrilleur automatique, d'un bassin de décantation anaérobie, d'un bassin de dénitrification, de 2x5 bassins d'infiltration en parallèle fonctionnant de manière séquentielle. La moitié du flux des eaux usées épurées est orienté vers une roselière qui alimente 2 bassins de stockage suivi des champs d'irrigation et l'autre moitié est dénitrifiée (voir schéma). La station devrait entrer en fonctionnement fin de l'année 2000.

Performances épuratoires

Les performances épuratoires escomptées de la station de Drarga ont été établies sur base des données récoltées à la station d'épuration de Ben Sergao et figurent au tableau 30.

TABEAU 30 : CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES BRUTES ET QUALITE DES EAUX USEES EPUREES DE LA COMMUNE DE DRARGA.

Caractéristiques	Eaux brutes	Eaux épurées	Rendement (%)
DBO5 (mg O ₂ /l)	886	30	97
DCO (mg O ₂ /l)	1306	58	96
NTK (mg/l)	110	38	65
MES (mg/l)	1102	4,4	96,6
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	51	0	100
N-NO ₃ ⁻	0	30	-
Coliformes fécaux (nb/100 ml)	1,5.10 ⁸	<1000	>99,999
Streptocoques fécaux (nb/100 ml)	2,1.10 ⁸	<1000	>99,999
Helminthes (nb/l)	241	0	100

Les effluents de la station d'épuration correspondront à la catégorie A des directives de l'OMS (OMS, 1989) et peuvent par conséquent, être utilisées pour une irrigation non restrictive.

Stockage des eaux usées

Un réservoir de stockage des eaux épurées de 2500 m³ va permettre de conserver l'eau en dehors des périodes d'irrigation, d'affranchir les agriculteurs des variations de débit et de qualité, d'améliorer la qualité des eaux usées et de disposer d'une réserve en cas d'arrêt de la station d'épuration.

Caractéristiques du périmètre à irriguer

Le volume des effluents épurés passera de 62.000 m³ à 150.000 entre 2000 et 2010. Dans le même temps, la superficie irriguée passera de 6 à 10.5 ha de céréales, cultures fourragères, cultures maraîchères et espace verts. A partir de 2010, l'excédent d'eau alimentera des cultures sous serres.

Gain économique

Le gain économique résulte de l'apport des eaux épurées en tant que ressource en eau alternative, aux éléments nutritifs véhiculés et à l'augmentation des rendements des cultures. Une lame d'eau de 100 mm apporterait 60 kg/ha d'azote minéral et minéralisable, 11 kg/ha de phosphore assimilable et 28 kg/ha de potassium.

Le rendement sera au minimum doublé. Le faible rendement actuel des cultures est attribué au manque d'eau et d'engrais et au coût élevé des eaux de pompage.

A ces gains s'ajoute celui généré par les produits de la roselière et par la valorisation des boues résiduelles co-compostées avec les déchets ménagers et les déchets agricoles.

6.3 Aperçu des réglementations des différents pays méditerranéens sur la réutilisation des eaux usées

Israël

Israël est le pays du bassin méditerranéen où la réutilisation des eaux usées urbaines est entièrement intégrée part dans la gestion globale des ressources en eaux, et dans le contexte économique agricole. En 1971, le Ministère de la Santé a édicté des normes de réutilisation. Ces normes sont fortement inspirées des normes californiennes et des directives de l'OMS de 1971, mais adaptées au pays, notamment en gardant une certaine souplesse pour tout ce qui concerne la production agricole. Toutefois ces normes sont très sévères pour les produits à consommer crus (normes californiennes).

France

Devant la demande de plus en plus pressante de la réutilisation des eaux usées, le Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (CSHPF), section des eaux, a créé en 1989 un groupe de travail spécifique à la réutilisation des eaux usées. Suite à ses travaux, ce groupe de travail a émis un avis officiel et édicté des recommandations en 1991. Ces recommandations reprennent en fait les directives de l'OMS en gardant les mêmes contraintes avec les mêmes valeurs et les mêmes paramètres, en y introduisant toutefois des prescriptions sur le type de culture, la caractéristique du mode de culture et les exigences d'irrigation en fonction de la technique utilisée.

La réutilisation des eaux usées se trouve ainsi codifiée et officialisée comme une technique de gestion à part entière pouvant s'intégrer dans des filières d'assainissement, et non plus comme une tolérance de pratiques plus ou moins sauvages ou expérimentales.

Tunisie

En Tunisie, la loi du 31 mars 1975 stipule que l'utilisation des eaux usées à des fins agricoles n'est autorisée qu'après traitement approprié de ces eaux en stations d'épuration et sur décision du Ministère de l'Agriculture, après accord du ministère de la santé publique. Dans tous les cas, la réutilisation des eaux usées, même traitées, est interdite pour l'irrigation ou l'arrosage des crudités.

La loi de 1989, modifiée par le décret de 1993, vient préciser les normes d'utilisation et les procédures d'analyses à respecter, mais stipule toujours que la réutilisation des eaux usées est interdite pour l'irrigation ou l'arrosage des crudités et reste soumise à l'autorisation du Ministère de l'Agriculture après accord des ministres de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, et de la Santé Publique.

Cette loi interdit aussi le pâturage direct sur les parcelles irriguées par les eaux usées et précise que celles-ci ne peuvent être utilisées que pour les cultures dont la liste est fixée par le Ministère de l'Agriculture après accord du ministre de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, et de la Santé Publique.

De manière pratique, le manque d'infrastructures permettant un traitement tertiaire des eaux usées et le coût généralement élevé de celui-ci, ne permet pas d'arriver à une épuration suffisante des effluents permettant leur utilisation sur des cultures autres que les cultures à caractère industriel comme le coton par exemple.

Italie

En Italie, plusieurs lois et directives réglementent les traitements, les rejets et la réutilisation des eaux usées. Ces lois sont en général peu directives et laissent aux régions la possibilité d'édicter une réglementation plus précise adaptée à leur contexte local. Il découle de cette structuration une assez grande hétérogénéité des prescriptions suivant les régions concernées (cas de la Sicile par exemple).

Espagne

L'Espagne est régie à deux niveaux. Des lois générales sont prises par le Parlement à l'échelon national, et les régions autonomes développent des réglementations dans les domaines de leurs compétences qui sont vastes. Une loi existe en matière d'Eau, et un seul article de cette loi a trait à la réutilisation des eaux usées pour la potabilisation directe, et la nécessité d'autorisations sanitaires pour tout projet.

La gestion des eaux en Espagne est décentralisée et revient, dans la plupart des cas, aux Communautés Autonomes Régionales qui sont au nombre de 17 pour tout le pays. Bien que la plupart des grandes villes aient leur station d'épuration, ou l'auront bientôt, la réutilisation des eaux usées est plus ou moins développée, surtout dans les zones touristiques, mais il manque encore une législation à l'échelon national.

A l'heure actuelle, le projet de développement d'une législation à l'échelon national à été entamé en concertation avec des spécialistes d'autres pays méditerranéens et européens. Les dissensions entre les partisans de l'adoption des normes californiennes et partisans de l'adoption des normes OMS en la matière n'est plus d'actualité et des propositions de normes ont été établies. Nous en reparlerons plus loin.

Égypte

En Égypte, par exemple, où les grands projets de réutilisation sont nombreux, il n'existe pas, pour le moment, de législation spécifique, mais des recommandations dans le cadre de loi de portée plus générale.

Portugal

Au Portugal, la loi de 1919 sur les ressources hydriques est encore en vigueur, bien qu'insuffisante. Cette loi est toutefois complétée par des décrets plus récents (1990) sur l'environnement et sur la qualité de l'eau. Ces décrets portent essentiellement sur la qualité physico-chimique des rejets, et précisent que la réutilisation des eaux usées pour l'agriculture dépend d'autorisations fournies par la Direction Générale des Ressources Naturelles après avis des Directions Générales de l'Hydraulique et Ingénierie Agricole et de la Protection de la Santé Publique.

Actuellement au Portugal, il n'existe pas de systèmes de réutilisation d'eaux résiduelles de dimensions significatives. En effet, les rares cas connus sont de dimensions réduites (une seule installation avec 11 hectares irrigués à partir d'une station de traitement d'une municipalité du sud du pays) ou des installations de caractère expérimental.

Cependant des problèmes de caractère organisationnel et institutionnel, liés à la difficulté de coordonner les efforts d'organismes de différentes branches (agriculture, santé publique, génie rural, Ministère de l'environnement et des ressources hydriques) ont conduit, dans la pratique, à la généralisation du recours à la réutilisation.

Grèce

En Grèce, l'absence d'une loi générale sur l'eau et la décentralisation au niveau des Préfectures du secteur de l'eau rend la réglementation extrêmement complexe. Cette réglementation porte essentiellement sur la protection de l'environnement en réglementant la qualité des rejets. La réutilisation des eaux usées traitées n'est abordée en tant que telle que par un décret présidentiel fixant des normes de traitement et de rejet pour les installations touristiques, notamment en cas de réutilisation en irrigation.

Jordanie

En 1992, la Jordanie a introduit des standards en le traitement et la réutilisation des eaux usées sous la forme d'une loi martiale pour être ensuite adaptés sous une forme plus libérale en 1989.

Les cultures autorisées à être irriguées dépendent de la qualité des effluents et, sous certaines conditions, il est permis d'irriguer des céréales et des légumes destinés à être consommés cuits. L'irrigation des terrains de sport et les parcs publics est également autorisée.

Liban

Actuellement, au Liban, aucune réglementation n'a encore été adoptée bien qu'il existe, dans une vieille législation datant de 1930, certaines réglementations destinées à prévenir la percolation des eaux usées dans les profondeurs du sol. Du reste, les eaux usées d'origine industrielle ne peuvent être déversées dans le réseau hydrique sans l'autorisation des autorités compétentes.

Chypre

A Chypre, des directives plus strictes que les recommandations de l'OMS ont été proposées dans le but de couvrir les conditions locales. Sur ces directives s'appuie un code de pratiques destiné à garantir la meilleure utilisation possible des effluents en irrigation.

Autres pays

En Syrie, seules des instructions pour les eaux d'irrigation donnent des paramètres physico-chimiques; en Algérie, un article du titre 8 de la loi générale sur l'Eau précise les ressources en eau non conventionnelles et prévoit la réutilisation pour l'irrigation suite à autorisations, et interdit l'arrosage des crudités.

6.4 Zones prioritaires : classement des centres selon le critère utilisation des eaux usées épurées

Centres	Province Wilaya	Population 1994	Bassin Versant	Vol.E.U. 2 015 10 ³ m ³ /an	REU exist.	Milieu récepteur Nature	risque atteinte ressource	déficit dans la région	note REU
LES PETITS CENTRES									
ARFOUD	ERRACHIDIA	18 563	Ziz	1 054	1	OP		1	100,0
GOULMIMA	ERRACHIDIA	14 026	Ziz	669	1	OS		1	99,8
ERRICH	ERRACHIDIA	13 952	Ziz	627	1	OP	1	1	99,6
AIT OURIR	HAOUZ	12 162	Tensift	613	1	OS	1	3	99,3
LA ATTAOUIA	EL K. SRARHNA	11 219	Cot.Atl.El Jad à Safi	495	1	OS	1	3	99,1
IMINTANOUTE	CHICHAOUNA	12 592	Tensift	417	1	OP		3	98,9
AMIZMIZ	HAOUZ	8 985	Tensift	360	1	OP	1	3	98,7
SEBT GZOULA	SAFI	10 363	Cot.Atl.El Jad à Safi	352	1	OP		3	98,5
TAMALLALT	EL K. SRARHNA	8 701	Tensift	321	1	OS	1	3	98,2
SID ZOUINE	MARRAKECH	7 726	Tensift	239	1	OS	1	3	98,0
SIDI RAHAL	EL K. SRARHNA	6 292	Tensift	171	1	OP		3	97,8
Mly.BRAHIM	HAOUZ	3 117	Tensift	114	1	OS	1	3	97,6
TALMEST	ESSAOUIRA	3 406	Cot.Atl.Essao	102	1	OS		3	97,3
AZILAL	AZILAL	18 080	Oum Er'Rbia	933	1	OP	1	4	97,1
AFOURAR	AZILAL	11 402	Oum Er'Rbia	544	1	OS	1	4	96,9
DEMNATE	AZILAL	17 782	Oum Er'Rbia	525	1	OP		4	96,7
OUAOUIZACHT	AZILAL	7 179	Oum Er'Rbia	413	1	OP		4	96,5
FOUM JAMAA	AZILAL	4 433	Oum Er'Rbia	160	1	OP		4	96,2
BZOU	AZILAL	3 097	Oum Er'Rbia	89	1	OP		4	96,0
AIN BNI MTHAR	JERADA	10 532	Moulouya	479	1	OP		5	95,8
IDI ALLAL EL BAHRAOU	KHEMISSET	6 581	Bou Regreg	281	1	OS	1	6	95,6
TIDDAS	KHEMISSET	3 160	Bou Regreg	93	1	OP		6	95,4
AIN TAOUJDATE	EL HAJEB	16 070	Sebou	1 120	1	OS	1	8	95,1
IFRANE	IFRANE	11 209	Sebou	1 037	1	OP		8	94,9
IMOUZZER KANDAR	SEFROU	11 555	Sebou	753	1	OP		8	94,7
SEBAA AIYOUN	EL HAJEB	15 575	Sebou	686	1	OS		8	94,5
BHALIL	SEFROU	10 678	Sebou	567	1	OP		8	94,2
AGOURAI	EL HAJEB	10 033	Sebou	530	1	OS		8	94,0
TISSA	TAOUNATE	7 059	Sebou	460	1	OP		8	93,8
Mly IDRISSE ZERHOUNE	MEKNES	12 521	Sebou	435	1	OP		8	93,6
EL MENZEL	SEFROU	10 785	Sebou	390	1	OP	1	8	93,4
HAI KADDOUR	MEKNES	2 696	Sebou	258	1	OS		8	93,1
AIN LEUH	IFRANE	5 055	Sebou	157	1	OP		8	92,9
AIN CHEGGAG	SEFROU	3 615	Sebou	140	1	OP		8	92,7
AIN JEMAA	MEKNES	2 470	Sebou	70	1	OS		8	92,5
TIMAHDITE	IFRANE	1 795	Sebou	60	1	OP		8	92,3
TOULAL	MEKNES	12 668	Sebou	0,08	1	OP		8	92,0
Mly ALI CHERIF	ERRACHIDIA	18 450	Ziz	895	n	OP		1	91,8
TATA	TATA	12 549	Draa	706	n	OS		1	91,6
BOUIZAKARNE	GUELMIM	8 638	Guelmum-Tiznit	469	n	OS	1	1	91,4
FOUM ZGUID	TATA	9 903	Draa	451	n	OS		1	91,2
BOUMALNE DADES	OUARZAZATE	9 908	Draa	390	n	OS	1	1	90,9
FIGUIG	FIGUIG	14 245	Guir	364	n	OS		1	90,7
EL OUATIA	TANTAN	7 846	Draa	331	n	OS		1	90,5
BOUDNIIB	ERRACHIDIA	8 294	Guir	300	n	OS		1	90,3
AKKA	TATA	6 519	Draa	273	n	OS		1	90,0
KALAAAT M'GOUNA	OUARZAZATE	10 524	Draa	273	n	OS	1	1	89,8
FAM EL HISN	TATA	7 040	Draa	267	n	OS		1	89,6
BIOUGRA	CHTOUKA AIT BAHA	13 885	Souss-Massa	854	n	OS	1	2	89,4
AOURIR	AGADIR	11 270	Souss-Massa	475	n	OS		2	89,2

ZONES PRIORITAIRES CLASSEMENT DES CENTRES SELON LE CRITERE REUTILISATION
DES EAUX USEES EPUREES

Centres	Province Wilaya	Population 1994	Bassin Versant	Vol.E.U. 2 015 10 ³ m ³ /an	REU exist.	Milieu récepteur Nature	risque atteinte ressource	déficit dans la région	note REU
LES PETITS CENTRES (suite)									
LGLIAA	AGADIR	8 339	Souss-Massa	392	n	OS	1	2	88,9
OULAD BERHIL	TAROUDANT	9 211	Souss-Massa	341	n	OS	1	2	88,7
EL GUERDANE	TAROUDANT	6 525	Souss-Massa	277	n	OS	1	2	88,5
TEMSLA	AGADIR	5 497	Souss-Massa	268	n	OS		2	88,3
EHEMMAIA	SAFI	18 010	Cot.Atl.El Jad à Safi	541	n	OS	1	3	88,1
JAMAAT SHAIM	SAFI	13 548	Cot.Atl.El Jad à Safi	522	n	OS	1	3	87,8
ZEMAMRA	EL JADIDA	10 310	Cot.Atl.El Jad à Safi	505	n	OS	1	3	87,6
TAMANAR	ESSAOUIRA	8 620	Cot.Atl.Essao	288	n	OS		3	87,4
CHICHAOUA	CHICHAOUA	9 738	Tensift	249	n	OP		3	87,2
EL BOROJJ	SETTAT	13 798	Oum Er'Rbia	831	n	OS	1	4	86,9
ZAOULAT CHEIKH	BENI MELLAL	19 906	Oum Er'Rbia	640	n	Sol	1	4	86,7
OULAD AYAD	BENI MELLAL	18 958	Oum Er'Rbia	571	n	OS		4	86,5
EL KSIBA	BENI MELLAL	15 355	Oum Er'Rbia	538	n	OS		4	86,3
LBIR JDID	EL JADIDA	10 540	Oum Er'Rbia	367	n	OS		4	86,1
OULAD M'BAREN	BENI MELLAL	10 212	Oum Er'Rbia	252	n	OS		4	85,8
MISSOUR	BOULEMANE	12 777	Moulouya	965	n	OP		5	85,6
SIDI SLIMANE ECHARAA	BERKANE TAOURIRT	16 518	Moulouya	580	n	OP		5	85,4
BOUHILA	BERKANE TAOURIRT	10 861	Moulouya	551	n	OP		5	85,2
BOUMIA	KHENIFRA	8 821	Moulouya	505	n	OP		5	85,0
DRJOUCH	NADOR	6 884	Moulouya	379	n	OP		5	84,7
TOUISSIT	JERADA	4 638	Moulouya	253	n	OS		5	84,5
BEN AHMED	SETTAT	19 135	Cot Atl Casa	719	n	OS		6	84,3
MEDIOUNA	CASABLANCA	11 669	Cot Atl Casa	676	n	OS		6	84,1
NOUACEUR	CASABLANCA	9 989	Cot Atl Casa	559	n	OS		6	83,8
EL GARA	SETTAT	15 822	Cot Atl Casa	455	n	OP		6	83,6
AIN EL AOUDA	SKHIRAT/TEM	13 708	Bou Regreg	444	n	OS		6	83,4
BOUSKOURA	CASABLANCA	4 029	Cot Atl Casa	410	n	OP	1	6	83,2
OULAD ABOU	SETTAT	10 018	Cot Atl Casa	435	n	OS		6	81,0
ROMMANI	KHFMISSSET	11 131	Bou Regreg	405	n	OP	1	6	82,7
BOUKNADEL	SALE	6 509	Bou Regreg	335	n	OSM	1	6	82,5
OULAD M'RAH	SETTAT	8 950	Cot.Atl Casa	330	n	OS		6	82,3
BOUNIBA	KHOURIBGA	14 319	Cot.Atl Casa	292	n	OS		6	82,1
TARGUIST	AL HOCEIMA	9 293	BTCM	620	n	OS	1	7	81,9
KARIA BA MOHAMED	TAOUNATE	13 271	Sebou	864	n	OP	1	8	81,6
Mly YACOUB	FES	2 726	Sebou	590	n	OS	1	8	81,4
LALLA MIMOUNA	KENITRA	8 800	Sebou	469	n	OP	1	8	81,2
RJBATE EL KHEIR	SEFROU	8 373	Sebou	412	n	OS		8	81,0
BOUFAKRANE	MEKNES	4 223	Sebou	270	n	OP		8	80,8
BOUARFA	FIGUIG	19 631	Guir	669		OS		1	80,5
TABOUNTE	OUARZAZATE	13 149	Draa	652		OS		1	80,3
JORF	ERRRACHIDA	12 143	Ziz	430		OP		1	80,1
TINEJDAD	ERRRACHIDA	5 755	Ziz	344		OP		1	79,9
AGUELMOUSS	KHENIFRA	9 062	Oum Er'Rbia	529		OP	1	4	79,6
OULAD FREJ	EL JADIDA	7 731	Oum Er'Rbia	442		OS		4	79,4
AIT ISHAQ	KHENIFRA	10 457	Oum Er'Rbia	392		OP	1	4	79,2
ZEEGHANGHANE	NADOR	19 012	Moulouya	742		OP		5	79,0
MIDAR	NADOR	11 131	Moulouya	612		OP		5	78,8
SELOUANEE	NADOR	7 580	Moulouya	599		OP		5	78,5
OUTAT EL HAJ	BOULEMANE	9 987	Moulouya	594		OP		5	78,3
BNI DRAR	OUJDA ANGAD	6 663	Moulouya	347		OS		5	78,1
BNI BOUAYACH	AL HOCEIMA	13 128	BTCM	775		OP	1	7	77,9
JORF EL MELHA	SIDI KACEM	10 187	Sebou	535		OP		8	77,7
OUAD AMLIL	TAZA	6 524	Sebou	418		OP	1	8	77,4
BOUJDOUR	BOUJDOUR	15 167	Cot. Atl. Sahar	704	n	MER		1	77,2
SIDI IFNI	TIZNIT	19 722	Guelmin Tiznit	604	n	JEU		1	77,0

**ZONES PRIORITAIRES CLASSEMENT DES CENTRES SELON LE CRITERE
REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES**

Centres	Province Wilaya	Population 1994	Bassin Versant	Vol.E.U. 2 015 10 ³ m ³ /an	REU exist.	Milieu récepteur Nature	risque atteinte ressource	Déficit Dans la Région	note REU
LES PETITS CENTRES (suite)									
MEHDIA	KENITRA	5 905	Sebou	976	n	VEN		8	76,8
SAIDIA	BERKANE TAOURIRT	2 563	Moulouya	356	n	SAM		5	76,5
EL ARGOUB	OUED EDDAHAB	808	Cot. Atl. Sahar	29		DIM		1	76,3
Mly ABDELLAH	EL JADIDA	3 806	Cot.Atl.El Jad à Safi	260	n	LUN		3	76,1
OUAD LAOU	TETOUAN	7 575	BTCM	255		MAR		7	75,9
TIT MELLIL	CASABLANCA	5 796	Cot.Atl Casa	383	n	MER		6	75,7
LAGOUIRAA	OUED EDDAHAB	509	Cot. Atl. Sahar	17		JEU		1	75,4
AGDZ	OUARZAZATE	5 870	Draa	234	n	OS		1	75,2
BNI TADJITEE	FIGUIG	6 029	Guir	218	n	OS		1	75,0
TAFRAOUT	TIZNIT	3 949	Guelmin Tiznit	198	n	OS		1	74,8
TAGIJJIT	GUELMIM	7 243	Guelmin Tiznit	186	n	OS		1	74,6
ASSA	ASSA ZAG	8 323	Draa	165	n	OS		1	74,3
TARFAYA	LAAYOUNEE	4 506	Sakia Al Hamra	120	n	OS		1	74,1
LAKHSAS	TIZNIT	3 329	Guelmin Tiznit	107	n	OS	1	1	73,9
SKOURA	OUARZAZATE	2 427	Draa	104	n	OS		1	73,7
TAZNAKHT	OUARZAZATE	3 813	Draa	98	n	OS		1	73,5
TALSINT	FIGUIG	3 053	Guir	89	n	OS		1	73,2
BOUANANE	FIGUIG	2 488	Guir	71	n	OS		1	73,0
ZAG	ASSA ZAG	2 759	Draa	70	n	OS		1	72,8
TALIOUINEE	TAROUDANT	4 963	Souss-Massa	151	n	OS		2	72,6
IGHERM	TAROUDANT	4 558	Souss-Massa	150	n	OS		2	72,3
MASSA	CHTOUKA AIT BAHA	8 113	Souss-Massa	136	n	OP		2	72,1
AIT BAHA	CHTOUKA AIT BAHA	3 638	Souss-Massa	112	n	OS		2	71,9
LOUALIDIA	EL JADIDA	4 414	Cot.Atl.El Jad à Safi	239	n	OS/M		3	71,7
EL HANCHANTE	ESSAOUIRA	3 898	Cot.Atl.Essao	182	n	OS		3	71,5
SID L'MOKHTAR	CHICHAOUA	9 495	Tensift	173	n	OP		3	71,2
TAHANNAOOUT	HAOUZ	4 462	Tensift	166	n	OP		3	71,0
SIDI SMAIL	EL JADIDA	3 279	Cot.Atl.El Jad à Safi	164	n	OS		3	70,8
TAMESLOHTE	HAOUZ	4 758	Tensift	160	n	OP		3	70,6
SIDI BOU OTHMANE	EL K.SRARHNA	2 872	Tensift	154	n	OS		3	70,4
BOUGUEDRA	SAFI	1 326	Cot.Atl.El Jad à Safi	97	n	OS		3	70,1
OULAD GHADBANE	EL JADIDA	2 648	Cot.Atl.El Jad à Safi	74	n	OS		3	69,9
AIT DAOUD	ESSAOUIRA	2 118	Cot.Atl.Essao	55	n	OS		3	69,7
SMIMOU	ESSAOUIRA	1 321	Cot.Atl.Essao	38	n	OS		3	69,5
OULAD AMRANE	EL JADIDA	1 227	Cot.Atl.El Jad à Safi	31	n	OS/M		3	69,2
HRARA	SAFI	970	Cot.Atl.El Jad à Safi	26	n	OS		3	69,0
IGHOUD	SAFI	1 260	Tensift	25	n	OS		3	68,8
DAR Ouled ZIDOUH	BENI MELLAL	8 094	Oum Er'Rbia	234	n	OP		4	68,6
SIDI JABER	BENI MELLAL	4 597	Oum Er'Rbia	226	n	OS		4	68,4
TIGHASSALINE	KHENIFRA	5 046	Oum Er'Rbia	211	n	OS	1	4	68,1
BRADIA	BENI MELLAL	5 611	Oum Er'Rbia	182	n	OP		4	67,9
AGHBALA	BENI MELLAL	5 822	Oum Er'Rbia	159	n	OS		4	67,7
OULAD YAICH	BENI MELLAL	6 132	Oum Er'Rbia	150	n	OS		4	67,5
LAAOUANATE	EL JADIDA	3 434	Oum Er'Rbia	121	n	OS		4	67,3
SKHOUR RHAMGA	EL K.SRARHNA	3 526	Oum Er'Rbia	115	n	OP		4	67,0
GUISSER	SETTAT	1 361	Oum Er'Rbia	70	n	OS		4	66,8
HAD BOUHSSOUSSEN	KHENIFRA	2 064	Oum Er'Rbia	49	n	Sol		4	66,6

ZONES PRIORITAIRES CLASSEMENT DES CENTRES SELON LE CRITERE REUTILISATION
DES EAUX USEES EPUREES

Centres	Province Wilaya	Population 1994	Bassin versant	Vol.E.U. 2 015 10 ³ m ³ /an	REU exist.	Milieu récepteur Nature	risque atteinte ressource	Déficit Dans la Région	note REU
LES PETITS CENTRES (suite)									
BEN TAIED	NADOR	6 246	Moulouya	245	n	OS		5	66,4
GUIGOU	BOULEMANE	5 448	Moulouya	236	n	OS		5	66,2
TOUNFITE	KHENIFRA	5 882	Moulouya	196	n	OP		5	65,9
AKLIM	BERKANE TAOURIRT	7 992	Moulouya	192	n	OP		5	65,7
ITZER	KHENIFRA	5 530	Moulouya	173	n	OS		5	65,5
ZAIDA	KHENIFRA	3 073	Moulouya	139	n	OP		5	65,3
AKNOUL	TAZA	3 325	Moulouya	128	n	OP		5	65,0
AIN ERRAGGADA	BERKANE TAOURIRT	3 228	Moulouya	170	n	OS		5	64,8
DEBDOU	JERADA	4 477	Moulouya	89	n	OS		5	64,6
BOUBKER	JERADA	2 341	Moulouya	80	n	OP		5	64,4
EL HFIMER	JERADA	2 188	Moulouya	70	n	OP		5	64,2
MADACH	BERKANE TAOURIRT	2 212	Moulouya	69	n	OP		5	63,9
OULMES	KHEMISSET	7 408	Bou Regreg	241	n	OP	1	6	63,7
BEN YAKHLEF	BEN SLIMANE	6 212	Cot.Atl.Casa	195	n	OS		6	63,5
MAAZIZ	KHEMISSET	7 635	Bou Regreg	191	n	OP		6	63,3
HATTANE	KHOURIBGA	11 263	Cot.Atl.Casa	190	n	OS		6	63,1
LOULAD	SETTAT	4 292	Cot.Atl.Casa	182	n	OS		6	62,8
BOULANOURE	KHOURIBGA	9 734	Cot.Atl.Casa	176	n	OS		6	62,6
RAS EL AIN	SETTAT	3 455	Cot.Atl.Casa	150	n	OP		6	62,4
DEROUA	SETTAT	2 687	Cot.Atl.Casa	76	n	OS		6	62,2
BAB BERRED	CHEFCHAOUEN	2 982	BTCM	99	n	OS		7	61,9
BNI HAFIDA	AL HOCEIMA	1 939	BTCM	91	n	OS	1	7	61,7
BAB TAZA	CHEFCHAOUEN	1 621	BTCM	67	n	OS		7	61,5
AJDIR TAZA	TAZA	1 443	BTCM	52	n	OS		7	61,3
DAR CHAOUI	TANGER	1 403	BTCM	46	n	OP	1	7	61,1
BRJKCHA	CHEFCHAOUEN	1 277	BTCM	37	n	OS	1	7	60,8
MOQRISAT	CHEFCHAOUEN	1 225	BTCM	36	n	OS		7	60,6
BOULEMANE	BOULEMANE	6 067	Sebou	211	n	OP		8	60,4
KHMIS SAHEL	LARACHE	4 020	Loukkos	194	n	OS		8	60,2
DAR GUEDDARJ	SIDI KACEM	5 403	Sebou	190	n	OS	1	8	60,0
GHAFFSAI	TAOUNATE	4 255	Sebou	167	n	OP		8	59,7
HAD KOURT	SIDI KACEM	4 296	Sebou	164	n	OS		8	59,5
KHNIHET	SIDI KACEM	6 031	Sebou	146	n	OS		8	59,3
THAR ESSOUK	TAOUNATE	3 311	Sebou	127	n	OP		8	59,1
ZIRARA	SIDI KACEM	4 519	Sebou	125	n	OP		8	58,8
SIDI ALLAL TAZI	KENITRA	2 205	Sebou	118	n	OP		8	58,6
ZRAZDA	TAZA	3 074	Sebou	111	n	OS		8	58,4
ZOUMI	CHEFCHAOUEN	2 175	Sebou	110	n	OS		8	58,2
ARBAOUA	KENITRA	1 567	Sebou	94	n	OP	1	8	58,0
ZAOULAT BOUGRINE	SEFROU	3 184	Sebou	81	n	OS		8	57,7
TAINASTE	TAZA	2 074	Sebou	72	n	OS		8	57,5
SIDI ADDI	IFRANE	2 196	Sebou	65	n	OP		8	57,3
IMOUZAR Marmoucha	BOULEMANE	2 502	Sebou	62	n	OS		8	57,1
AIN DORIJ	SIDI KACEM	1 258	Sebou	39	n	OS		8	56,9
TENDRARA	FIGUIG	5 641	Guir	154		OS		1	56,6
GOURRAMA	ERRACHIDIA	1 555	Guir	58		OS		1	56,4
AIT LAAZA	TAROUDANT	4 881	Souss-Massa	234		OS		2	56,2
SIDI AHMED	SAFI	7 834	Tensift	211		OS		3	56,0
KARIA	EL JADIDA	3 509	Cot.Atl.El Jad à Safi	189		OP		3	55,8
SIDI ALI BEN HAMDOUNE	EL JADIDA	2 640	Cot.Atl.El Jad à Safi	98		OS		3	55,5
EL KBAB	KHENIFRA	8 106	Oum Er'Rbia	242		OS		4	55,3
KAHF N'SOUR	KHENIFRA	4 156	Oum Er'Rbia	163		OS		4	55,1
Mly BOUAZZA	KHENIFRA	4 960	Oum Er'Rbia	143		OS	1	4	54,9
TIGHZA	KHENIFRA	2 326	Oum Er'Rbia	80		OP		4	54,6
KERROUCHEN	KHENIFRA	1 717	Oum Er'Rbia	60		OP		4	54,4
SIDI YAHYA	OUIDA ANGAD	5 400	Moulouya	238		OP		5	54,2
NEIMA	OUIDA ANGAD	1 641	Moulouya	110		OS		5	54,0

**ZONES PRIORITAIRES CLASSEMENT DES CENTRES SELON LE CRITERE REUTILISATION
DES EAUX USEES EPUREES**

Centres	Province Wilaya	Population 1994	Bassin versant	Vol.E.U. 2 015 10 ³ m ³ /an	REU exist.	Milieu récepteur Nature	risque atteinte ressource	Déficit Dans la Région	note REU
LES PETITS CENTRES (suite)									
SOUALEM	SETTAT	1 849	Cot.Atl.Casa	132		OS		6	53,8
OULAD SAID	SETTAT	2 200	Cot.Atl.Casa	115		OS		6	53,5
Oulad H'RIZ SAHEL	SETTAT	1 616	Cot.Atl.Casa	60		OS		6	53,3
DAR BNI KARRICH	TETOUAN	3 536	BTCM	177		Sol	1	7	53,1
AJDIR Hocrima	AL HOCEIMA	3 669	BTCM	147		OS		7	52,9
GUEZNAYA	TANGER	1 967	BTCM	95		OP	1	7	52,7
TAMASSINT	AL HOCEIMA	1 903	BTCM	87		Sol	1	7	52,4
TIZI OUASLI	TAZA	1 680	BTCM	66		OS		7	52,2
ISSAGUEN	AL HOCEIMA	1 593	BTCM	59		Sol	1	7	52,0
TNIN SIDI EL YAMANI	TANGER	1 110	BTCM	29		OP		7	51,8
OULAD ZBAIR	TAZA	3 001	Sebou	101		OS		8	51,5
MATMATA	TAZA	1 945	Sebou	88		OS		8	51,3
SKHINATE	FES	3 014	Sebou	74		OP		8	51,1
RAS EL MA	NADOR	2 410	Moulouya	125	n	MER		5	50,9
KARLAT ARKMANE	NADOR	2 534	Moulouya	116	n	MER	1	5	50,7
EL JABILA	CHEFCHAOUEN	2 224	BTCM	113	n	MER		7	50,4
SIDI BOUZID	EL JADIDA	483	Cot.Atl.El Jad à Safi	30	n	MER		8	50,2
Miy BOUSSELHAM	KENITRA	855	Sebou	40	n	MER	1	8	50,0
GRANDES VILLES									
MARRAKECH	MARRAKECH	672 506	Tensift	38 859			1	3	100,0
KHOURIBGA	KHOURIBGA	152 090	Oum Er'Rbia	7 037			1	4	97,8
BENI MELLAL	BENI MELLAL	140 212	Oum Er'Rbia	6 618			1	4	95,7
OUJDA	OUJDA	351 878	Moulouya	18 673			1	5	93,5
SETTAT	SETTAT	96 217	Cot.Atl.Casa	5 582			1	6	91,3
TETOUAN	TETOUAN	277 516	BTCM	11 170			1	7	89,1
FES	FES	769 014	Sebou	63 657			1	8	87,0
MEKNES	MEKNES	401 852	Sebou	25 747			1	8	84,8
KSAR EL KEBIR	KSAR EL KEBIR	107 065	Loukkos	5 507			1	8	82,6
KHEMISSSET	KHEMISSSET	88 839	Sebou	3 575			1	8	80,4
LAAYOUNE	LAAYOUNE	141 284	Sakia Al Hamra	4 527			n	1	78,3
TAZA	TAZA	120 971	Sebou	7 809			n	8	76,1
G. AGADIR	G. AGADIR	499 458	Souss-Massa	43 505			1	2	73,9
CASABLANCA	CASABLANCA	2 738 477	Cot.Atl.Casa	129 115			n	6	71,7
TANGER	TANGER	497 147	BTCM	31 335			n	7	69,6
RABAT	RABAT	623 457	Bou Regreg	43 889			n	6	67,4
SALE	SALE	579 850	Bou Regreg	26 561			n	6	65,2
SAFI	SAFI	262 276	Cot.Atl.El Jad à Safi	9 298			n	3	63,0
KENITRA	KENITRA	292 627	Sebou	17 652			n	8	60,9
MOHAMMEDIA	MOHAMMEDIA	170 063	Cot.Atl.Casa	14 788			n	6	58,7
EL JADIDA	EL JADIDA	119 083	Cot.Atl.El Jad à Safi	7 137			n	3	56,5
NADOR	NADOR	112 450	Moulouya	6 272			n	5	54,3
TEMARA/HARHOURA	TEMARA/HARHOURA	132 689	Cot.Atl.Casa	7 927			n	6	52,2
LARACHE	LARACHE	90 400	Loukkos	5 796			n	8	50,0

Source : SDNAL, 1998

REUTILISATION DES EAUX USEES DES VILLES COTIERES

Villes	Dénivl crêtee (m)	Long refoul (km)	déficit dans la Région	vol EU 1994 (10 ³ m3/an)	vol EU 2015 (10 ³ m3/an)	Coeff. Pondér.	Q équival (m3/s)	HMT (m)	PW hydraulique KW
Agadir	100	15	3	12 514	43 505	6	5,79	114	1080
Casablanca	200	40	2	63 464	129 115	1	2,87	333	9362
Tanger	65	12	1	9 905	31 335	2	1,04	08.0	543
Rabat	100	10	1	28 284	43 889	1	0,97	111	1061
Dahkla	50	5	3	731	2 164	20	0,96	06.7	32
Sale	100	8	1	9 132	26 561	1	0,59	120	695
Safi	100	20	3	4 815	9 298	2	0,41	161	326
Kenitra	60	6	1	7 643	17 652	1	0,39	07.0	268
Mohammedia	100	12	2	8 516	14 788	1	0,33	112	361
El jadida	50	13	2	3 555	7 137	2	0,32	07.6	118
Boujdour	20	5	3	0	704	20	0,31	09.5	15
Nador	50	9	2	1 571	6 272	2	0,21	09.1	124
Temara/harhou	100	15	2	917	7 927	1	0,18	135	233
Larache	60	4	1	2 985	5 796	1	0,13	07.9	99
Essaouira	50	6	3	1 521	2 660	2	0,12	07.5	44
Al Hoceima	142	10	2	1 300	2 442	2	0,08	171	91
Tarfaya	20	5	3	0	120	20	0,05	07.5	2
Lagouira	20	5	3	0	17	20	0,01	05.0	0,18

Source : SDNAL, 1998

- 1 région assez déficitaire
- 2 région déficitaire
- 3 région très déficitaire