



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE DU MAROC

**Ébauche de révision des normes de qualité des eaux usées
traitées destinées à l'irrigation des cultures et à l'arrosage
espaces verts**



MARS 2013

Ce document a été préparé par DAI pour évaluation par l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID).

COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE DU MAROC

EBAUCHE DE REVISION DES NORMES DE QUALITE DES EAUX USEES TRAITEES DESTINEES A L'IRRIGATION DES CULTURES ET A L'ARROSAGE DES ESPACES VERTS

Préparé par Brahim SOUDI
Consultant Senior

Année : 2013

Soumis à USAID/Maroc, Bureau de croissance économique - Objectif d'aide n° 3 : Réduction des barrières
au commerce et à l'investissement

Par DAI

Numéro de contrat : EEM-I-00-07-00009-00 : Ordre de mission : EEM-I-07-07-00009

Programme Compétitivité Economique du Maroc

8, rue du Rif

Souissi

10 000 Rabat

Maroc

Tel: (212) 05 37 63 05 59

Fax: (212) 05 37 63 05 61

andrew_watson@dai.com

[Http://www.mecprogram.ma](http://www.mecprogram.ma)

L'opinion de l'auteur de ce document engage uniquement la responsabilité de ce dernier et ne reflète pas nécessairement le point de vue de l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) ni celui du Gouvernement des États-Unis

TABLE DES MATIERES

I.	LES ENJEUX DE RÉUTILISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES AU MAROC.....	7
I.1.	LA REUTILISATION DES EAUX USEES : UN OBJECTIF STRATEGIQUE.....	7
1.2.	LES OPPORTUNITES DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES	8
I.3.	LES CONTRAINTES ENTRAVANT LES PROJETS DE REUTILISATION	8
1.3.1.	Préambule	8
1.3.2.	Principales contraintes motivant la révision des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (appelé dans ce rapport NM – QUEDI).....	9
1.3.3.	Tentative de cartographie des contraintes par rapport aux maillons du système épuration – réutilisation	12
II.	RISQUES ASSOCIES A LA REUTLISATION	16
II.1.	RISQUES SANITAIRES.....	16
II.2.	RISQUES AGRO-ENVIRONNEMENTAUX.....	18
III.	BASES ET REFRENTIELS POUR LE PROJET DE REVISION DE NM-QUEDI	20
III.1.	LES CRITERES ET PARAMETRES IMPORTANTS	20
III.2.	LES APPROCHES POUR L'ETABLISSEMENT DES NORMES MICROBIOLOGIQUES	21
III.3.	COMPARAISON DES DIRECTIVES ET NORMES DE REUTILISATION A L'ECHELLE INTERNATIONALE	23
III.3.1.	Revue des valeurs – guides et valeurs – seuils des paramètres physico-chimiques	23
III.3.2.	Analyse critique des normes actuellement adoptées au Maroc.....	26
III.3.3.	Paramètres relatifs aux éléments traces métalliques et aux éléments toxiques inorganiques.....	29
III.3.3.4.	Paramètres relatifs aux composés organiques dangereux.....	32
III.3.3.5.	Relativisation de la normalisation des ETM et recommandations pour le Maroc.....	34
III.3.4.	Paramètres microbiologiques: valeurs seuils et modulation en fonction du niveau de traitement et d'adoption, des plantes et des pratiques préventives	1
III.3.4.1.	Normes dans les pays du MENA et du bassin méditerranéen	1
III.3.4.2.	Normes recommandées par les organisations internationales (FAO, PNUE, OMS)	3
III.3.5.	Cadence et rythme de suivi des paramètres de qualité.....	11
III.5.	REVIEW DES DIRECTIVES SPECIFIQUES A L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS	12
	L'ENCADRE SUIVANT RELATE UNE REVUE DE QUELQUES REFERENCES INTERNATIONALES EN MATIERE DE DIRECTIVES ADOPTEES POUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES POUR L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS.	12
	LIGNES DIRECTRICES POUR LA REUTILISATION POUR LES PAYS MEDITERRANEENS.....	12
	NORME CYPRIENNE.....	13
	NORME DE L'OMS.....	13
	NORMES DE L'US-EPA.....	13
	PROJET D'ARRETE FRANÇAIS	13
IV.	EBAUCHE DE PROJET DE REVISION DE LA NORME DE QUALITE DES EAUX DESTINEES A L'IRRIGATION (NM-QUEDI) AU MAROC	15
	INTRODUCTION	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
IV.1.	OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
IV.2.	LISTE DES ABBREVIATIONS	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
IV.2.	NORMES ET REFERENTIELS EN VIGUEUR AU NIVEAU INTERNATIONAL (VOIR CHAPITRES II ET III DU PRESENT RAPPORT D'ACCOMPAGNEMENT)	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
IV.3.	REFERENTIEL REGLEMENTAIRE EXISTANT AU MAROC	Erreur ! Signet non défini.
	a/ La loi sur l'Eau 10-95 qui se base sur des principes en relation avec la qualité de l'eau. Elle vise les objectifs suivants :.....	Erreur ! Signet non défini.
	- La protection et la conservation des ressources en eau,.....	Erreur ! Signet non défini.
	- La protection de la santé de l'Homme par la réglementation de l'exploitation, de la distribution et de la vente des eaux à usage alimentaire,.....	Erreur ! Signet non défini.
	- La réglementation des activités susceptibles de polluer les ressources en eau.....	Erreur ! Signet non défini.

b/ Le décret N°2-97-787 du 4 Février 1998 relatif aux normes de qualité des eaux et l'inventaire du degré de pollution des eaux. Ce décret, conformément à l'article 51 de la loi sur l'eau, définit les normes de qualité auxquelles une eau doit satisfaire selon l'utilisation qui en sera faite. **Erreur ! Signet non défini.**

c/ Le décret N°2-97-875 du 4 Février 1998 relatif à l'utilisation des eaux usées. Ce décret fixe les conditions de l'autorisation d'utilisation des eaux usées épurées délivrée par l'Agence du Bassin Hydraulique ainsi que les modalités d'octroi du concours financier de l'état lorsque l'utilisation de ces eaux permet de réaliser des économies d'eau et de préserver les ressources en eau contre la pollution.....**Erreur ! Signet non défini.**

VI.4. CATEGORISATION DES MODALITES DE REUTILISATION (COMPLEMENTS DU CHAMP D'APPLICATION (Cf. VI.1)..... **Erreur ! Signet non défini.**

VI.4.1. Catégorisation des cultures..... **Erreur ! Signet non défini.**

VI.4.2. Catégorisation des espaces verts..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.3. Systèmes d'irrigation **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.4. Niveaux de traitement (de référence)..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5. SPECIFICATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DE QUALITE DES EAUX USEES DESTINEES A L'IRRIGATION.....**ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

IV.5.1. Considérations générales..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2. Paramètres physico-chimiques **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.3. Spécifications biologiques et biochimiques..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.6. SUIVI ET SURVEILLANCE..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

IV.6.1. Fréquence de suivi..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.6.2. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse **Erreur ! Signet non défini.**

IV. 7. DISPOSITIONS PARTICULIERES **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ABH :	Agence du Bassin Hydraulique
CE :	Conductivité électrique
CF :	Coliformes fécaux
CT :	Coliformes totaux
DBO ₅ :	Demande biochimique en oxygène à 5 jours
DCO :	Demande chimique en oxygène
DIAEA :	Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole
EH :	Équivalent Habitant
EPA :	Agence Américaine de protection de l'environnement
ESP :	Pourcentage de Sodium Échangeable
EUE :	Eaux usées épurées
FAO :	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
MEC:	Moroccan Economic Competiveness (Projet)
MES :	Matière en suspension
MEST :	Matières en suspension totales après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C.
OD :	Oxygène dissous
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
ONA :	Office National de l'Assainissement
ONSSA :	Office National de santé et sécurité des aliments
PNUE :	Programme des nations – unies pour l'environnement
SAR :	Taux Sodium Adsorbé (Une mesure de la quantité de sodium par rapport à la quantité de calcium et de magnésium dans l'eau ou dans l'extrait de sol saturé)
STEP :	Station d'épuration
TAC :	Titre Alcalimétrique Complet
TDS :	Sels totaux dissous
USAID :	Agence des États-Unis pour le développement international (United States Agency for International Development)
US EPA:	United States Environmental Protection Agency

Préambule

Dans le cadre de mise en œuvre de son plan d'action prioritaire élaboré lors des ateliers du 07 février et de 10 Avril 2013, le Comité National de Réutilisation et de Valorisation des sous-produits de l'Assainissement Liquide (CN-REVAL), a initié avec l'appui du Projet MEC – USAID et du Projet AGIRE – GIZ, le processus de révision des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation. Cette première ébauche sera débattue dans le cadre des travaux du CN-REVAL avec l'apport des experts dans le domaine. Une fois finalisée, la version révisée sera érigée en un nouveau projet d'arrêté, fixant les normes, les prescriptions techniques, les modalités de suivi et de surveillance des projets de réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation des cultures ou d'espaces verts.

Deux principes directeurs ont présidé à l'élaboration de cette ébauche de nouvelles normes ; le premier réside dans la sécurisation de la réutilisation des eaux usées traitées en termes de protection de la santé publique et de l'environnement, et de la santé animale lorsque l'eau usée traitée est destinée à l'irrigation des terrains de parcours ou des cultures fourragères. Le second principe consiste à élaborer des normes réalistes, abordables, faisables et adaptées aux conditions locales (facteurs épidémiologiques, socio - culturels et environnementaux). Par rapport à ce principe, il sera procédé à l'inspiration des nouvelles directives et recommandations de l'OMS (2006)¹ basée sur l'approche multi-barrière. Celle-ci permettra de retrouver un équilibre entre le niveau de traitement et les mesures de gestion et de maîtrise des risques (restriction des cultures, technique d'irrigation, contrôle de l'exposition humaine, pratiques d'hygiène post-récolte, etc.). En effet, les contraintes économiques limitent très souvent le niveau de traitement. En d'autres termes, le traitement requis pour respecter des normes microbiologiques très strictes est très onéreux.

Aussi, les références internationales et notamment celles du bassin méditerranéen et des pays de Moyen Orient et de l'Afrique du Nord seront exploitées.

Une série de questions, non exhaustive, permet de guider ce processus de révision des normes :

- Quels sont les enjeux stratégiques de la réutilisation des eaux usées au Maroc ?
- Quelles sont les principales contraintes entravant la réutilisation des eaux usées ?
- En cas d'une réutilisation en agriculture, quelles sont les cultures ou les systèmes de cultures les plus pertinents ?
- Quels sont les risques associés à la réutilisation – tentative d'identification des risques prioritaires pour des contextes particuliers au Maroc ?
- Quelles sont les difficultés associées à l'application des normes actuelles ?
- Quels sont les paramètres importants à privilégier et donc à normaliser ?
- Quels sont les référentiels à adopter ?
- Quelles normes économiquement et administrativement applicables pour le Maroc ?
- Etc.

Le présent rapport relate le contexte et les motivations de la révision des normes en question ainsi que les référentiels existants au niveau national qu'international. Il s'achèvera par une partie spécifiquement dédiée au projet de révision des normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

¹ OMS (2006) *Directives pour l'utilisation sans danger des eaux usées, excréta et eaux ménagères en agriculture et aquaculture* (2006)

I.1. LA REUTILISATION DES EAUX USEES : UN OBJECTIF STRATEGIQUE

Le Maroc, à l'instar des autres pays du bassin méditerranéen et des MENA, se trouve dans une situation de déficit hydrique croissant. Ce déficit se creuse au fil de temps suite à une demande continue et sans cesse croissante en eau par les différents secteurs et en proportion majoritaire par l'agriculture, obligeant à préserver la ressource en eau. Le contexte de changements climatiques, de sécheresse et de multiplication des périodes de rareté des ressources hydriques, rendent la satisfaction de cette demande de plus en plus difficile à assurer.

Devant cette situation, la stratégie nationale du secteur de l'eau adoptée en 2009 a affiché, dans le cadre de l'axe stratégique « gestion et développement de l'offre », un potentiel annuel des eaux usées traitées à réutiliser en irrigation est estimé à environ 300 Mm³ pour l'horizon 2030. A titre indicatif, une feuille de route – 2030, élaborée par le Département de l'Eau – DRPE, a tenté de ventiler ce potentiel de réutilisation par rapport aux principaux types d'usage comme il est illustré par la figure 1.

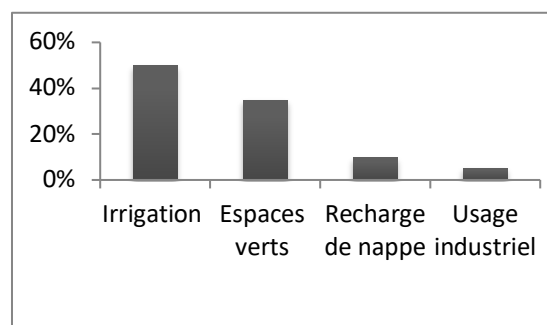
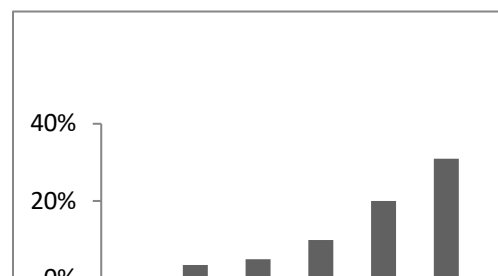
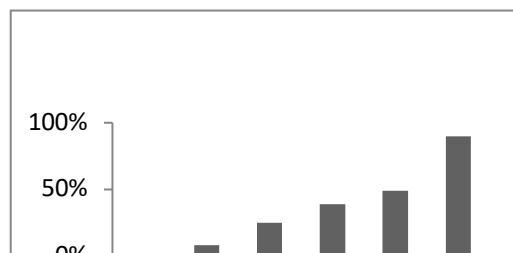


Figure 1. Feuille de route – 2030 : ventilation du potentiel de réutilisation sur les principaux types d'usage des eaux usées traitées (Données de la DRPE, 2013)

Aussi, un certain nombre d'orientations techniques ont été formulées dont les plus importantes sont : i) la considération des EUE comme ressource potentielle dans le cadre du PDAIRE et les affecter aux différents usages, ii) les déversements des eaux usées traitées en mer seront limités uniquement à des cas de non opportunité de réutilisation, iii) l'incitation des industriels à traiter les eaux usées avant le raccordement au réseau d'assainissement, et iii) la promotion de l'irrigation des espaces verts, golfs, forêts avec les eaux usées traitées. En matière d'offre des eaux usées traitées, les projections développées par la DREP (2012-2013), exprimées en termes de taux d'épuration des eaux usées et de taux de réutilisation,



nationale du secteur de l'eau, les eaux usées traitées véhiculent un gisement non négligeable d'éléments nutritifs qui peuvent facilement être quantifiés sur la base d'un apport moyen en éléments nutritifs par m³ et du volume potentiel disponible pour la réutilisation. Dans ce même cadre, soulignons que la mobilisation des éléments nutritifs par la biomasse végétale, constitue une voie de détournement qui permet d'éviter la pollution des ressources en eau de surface contre l'eutrophisation.

Aussi, dans les zones caractérisées par l'aridité climatique, la réutilisation des eaux usées traitées permet de générer un accroissement substantiel de la productivité agricole et de là améliorer le niveau socio-économique des agriculteurs.

La réutilisation des eaux usées peut constituer aussi une pratique intéressante d'adaptation aux changements climatiques dans les zones très arides et notamment dans les oasis.

Dans ce contexte, et pour avoir une visibilité sur le potentiel de réutilisation réalisable, une étude en cours a été lancée par le MAPM/ DIAEA en vue d'élaborer un Plan Directeur de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Irrigation (REUTI) qui se déroule quatre missions successives :

- L'établissement de l'état des lieux de la REUTI au Maroc ;
- L'inventaire des potentialités offertes par les EUT susceptibles d'être utilisées en irrigation et des terres déjà irriguées et celles potentiellement irrigables ;
- Le classement des projets de REUTI et l'élaboration d'un plan d'action décennal ;
- L'élaboration d'une boîte à outils comprenant un manuel pour l'élaboration et la gestion des projets de REUTI, un guide de sensibilisation des utilisateurs et un outil de gestion des projets de REUTI.

Comme nous allons l'apercevoir plus loin, l'atteinte de l'objectif stratégique affiché par la stratégie nationale du secteur de l'eau et la mise en œuvre de ce plan directeur seront tributaires à l'atténuation des contraintes entravant le développement des projets de réutilisation dont l'adaptation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

I.3. LES CONTRAINTES ENTRAVANT LES PROJETS DE REUTILISATION

I.3.1. Préambule

L'analyse des contraintes entravant le développement des projets de réutilisation des eaux usées a fait récemment l'objet d'une étude initiée par le projet MEC-USAID (2012)². Elles ont été aussi étayées par l'étude en cours relative à l'élaboration du Plan Directeur de réutilisation des eaux usées traitées en

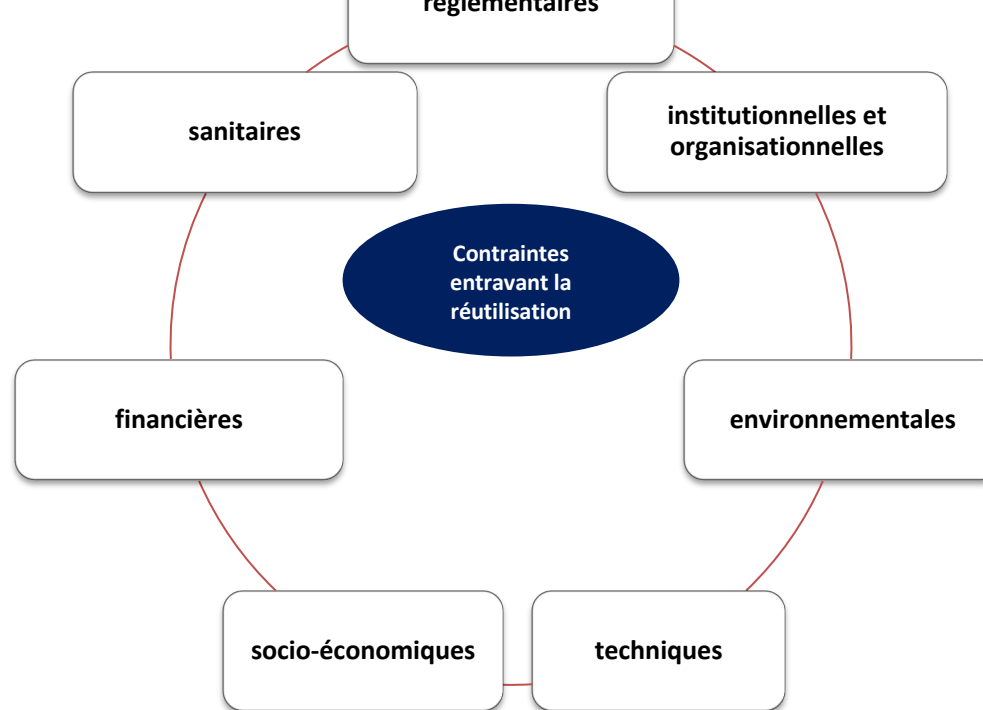


Figure 4. Schématisation des principales catégories de contraintes (MEC-USAID, 2012)⁴

1.3.2. Principales contraintes motivant la révision des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (appelé dans ce rapport NM – QUEDI)

L'analyse de ces contraintes permet d'éclairer le processus de révision des normes. En effet, un certain nombre d'entre elles devront absolument être pris en compte pour rendre ces normes plus réalistes et adaptées et pour prévoir les mesures d'accompagnement les rendant faisables. Ainsi, on se propose dans ce qui suit de faire un focus sur celles qui motivent et justifient la révision de la NM-QUEDI.

1.3.2.1. Contraintes réglementaires

L'analyse du cadre réglementaire et juridique régissant la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation au Maroc a mis en exergue un certain nombre de contraintes dont les plus importantes sont : la disparité du cadre institutionnel, les dispositifs réglementaires lacunaires et ne couvrant pas tous les aspects en relation avec la réutilisation des eaux usées (maîtrise des rejets industriels dans les réseaux des eaux usées domestiques, conditions et bonnes pratiques de réutilisation, etc.), la problématique de prise en charge du traitement complémentaire, et le caractère contraignant des normes de qualité des

valeur est plus sévère que celle recommandée par l'ONIS qui est : « <1 dans l'litre » et est donc plus stricte. Aussi, les fréquences des analyses et des mesures sont contraignantes et engendrent des coûts élevés. Ceci ramène aux contraintes financières qui seront étayées dans le paragraphe suivant.

1.3.2.2. Contraintes financières

L'un des points de blocage cruciaux des projets de réutilisation des eaux usées est de nature financière, où on constate souvent une insuffisance financière pour assurer un fonctionnement durable des stations de traitement. Selon l'ONEP – DAE (note de simulation non publiée), le coût généré par la partie amont des projets de réutilisation (ouvrages additionnels pour le traitement complémentaire des eaux usées par rapport au niveau secondaire, l'exploitation, la maintenance, les analyses, etc.) varie de 2.02 à 2.40 DH/m³ d'eau usée traitée selon le taux d'actualisation utilisé. Ce type de contraintes est quasi-généralisé dans tous les pays du MENA⁵.

Au niveau national, on note des coûts élevés de gestion et de maintenance, et qui varient considérablement selon la technologie adoptée, le processus de traitement, les spécificités du site, la charge polluante, et le stockage final des eaux usées traitées, qui sert comme mesure d'adaptation à la saisonnalité de la demande en eaux pour l'irrigation.

Au Maroc, le coût de mobilisation de cette ressource en eau pour un usage agricole varie suivant qu'il s'agit des villes côtières ou des villes continentales. Dans le premier cas, la réutilisation des eaux usées traitées nécessite le stockage, le transport et le refoulement vers les sites de réutilisation, alors que dans le deuxième cas, elle nécessite seulement l'aménagement du périmètre à irriguer⁶.

Dans le cas d'une valorisation agricole des EUT, cette problématique prend plus d'ampleur à cause des coûts générés par les ouvrages de traitement complémentaire (investissement, fonctionnement et maintenance) et **les coûts des analyses permettant de s'assurer de la conformité de la qualité des eaux usées aux normes en vigueur**. Ces derniers devront être coûteux au vu du nombre de paramètres à analyser et de la fréquence d'analyses ou de mesures fixés par l'arrêté n° 1276-01 du 10 Châabane 1423 (Cf. Encadré 1).

(6) par an à raison d'une (1) tous les deux (2) mois à partir de février pour les eaux superficielles, et de deux (2) par an pour les eaux souterraines pendant la période d'irrigation.

Toutefois, pour les eaux usées épurées, le nombre minimal d'échantillons, sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes fixées dans le tableau mentionné à l'article 2 de l'arrêté, est de:

- Quatre (4) par an à raison d'un (1) par trimestre pour analyser les métaux lourds;
- 24 fois par an à raison d'un (1) tous les quinze (15) jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques

Les prélèvements d'échantillons susmentionnés doivent s'effectuer à la sortie des stations d'épuration.

Il ressort de ces deux premières catégories de contraintes, que la conformité aux normes en vigueur s'avère très difficile et se traduit par un coût très élevé qui entrave significativement le développement des projets de réutilisation des eaux usées. Dans cette situation cette forte exigence demeure plus en faveur de rejet des eaux usées conformes aux valeurs limites plus larges et peut automatiquement occasionner, dans des zones arides et semi-arides non irriguées, un prélèvement de l'eau rejeté par les opérateurs dans les cours d'eau.

Dans le cas la réutilisation des eaux usées en agriculture, il est nécessaire de mettre en place des bassins de stockage afin de répondre à la variabilité temporelle, due à la régularité de l'offre et la saisonnalité de la demande. Toutefois, le coût de ces bassins présente une contrainte financière importante.

I.3.2.3. Contraintes agro-économiques

L'acceptabilité sociale de la réutilisation des eaux usées traitées constitue un facteur de réussite et de pérennisation de ce type de projet. En effet, on peut assister dans certains cas à une réticence à leur utilisation et en particulier chez les agriculteurs qui produisent des cultures à haute valeur ajoutée qui sont destinées au marché international. Ils refusent d'utiliser les eaux usées traitées par crainte de ne pas pouvoir commercialiser leurs produits irrigués avec ces effluents. D'autres agriculteurs, disposant d'une eau conventionnelle, refusent d'acheter ces eaux. Il s'agit dans ce cas d'une contrainte liée à la concurrence entre les eaux conventionnelles et les eaux usées traitées.

Ceci nous ramène à considérer une question majeure : quelle qualité des eaux usées traitées pour quelles cultures et dans quel contexte ?

*D'autres contraintes, notamment **sanitaires et agro-environnementales**, ne sont pas traitées ici mais seront considérées plus loin en tant que risques associées à la pratique de réutilisation des eaux usées traitées.*

La figure 5 montre le positionnement des contraintes décrites plus haut par rapport aux maillons du système d'épuration – réutilisation des eaux usées traitées.

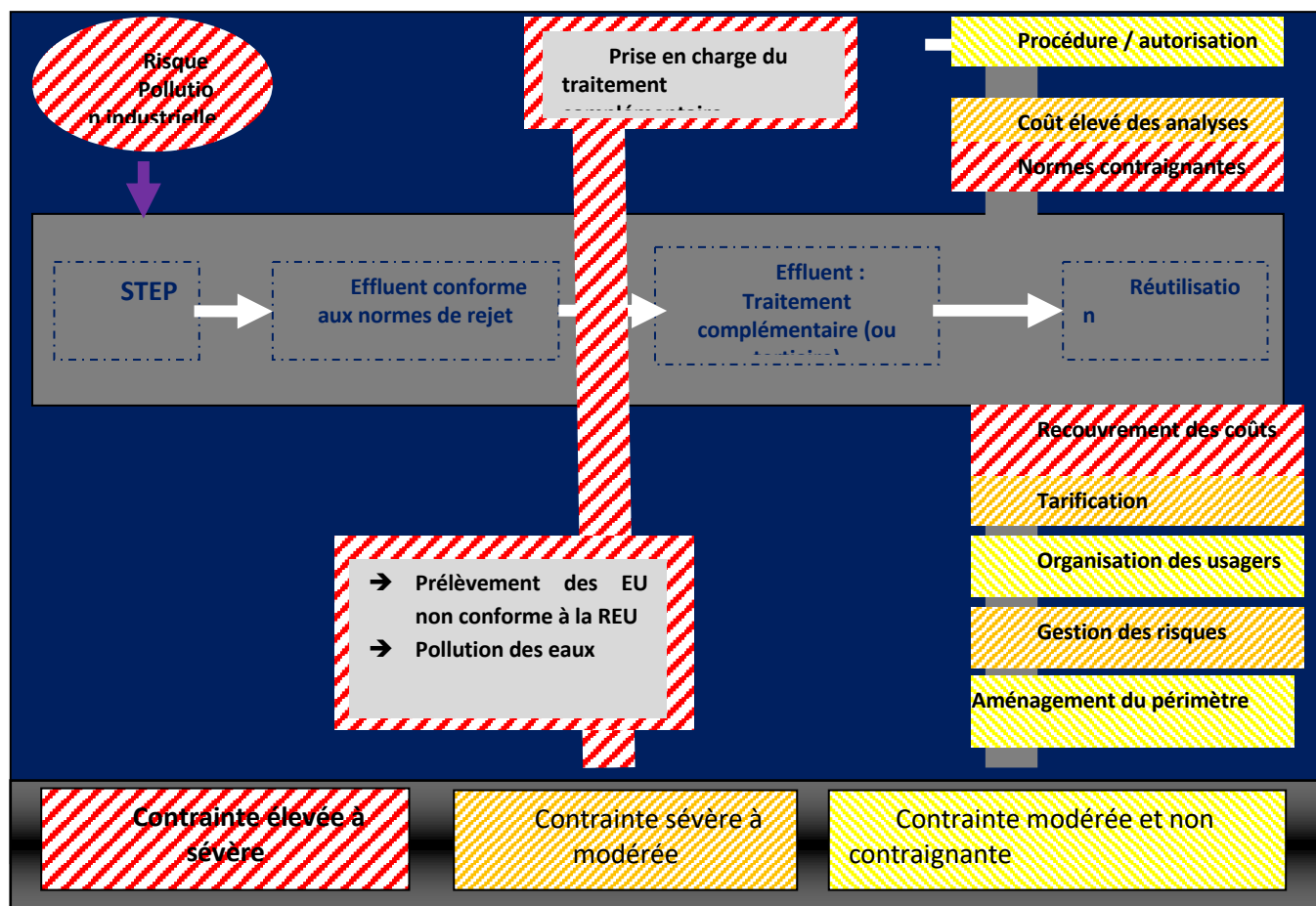


Figure 5. Schéma de compilation des contraintes susceptibles d'entraver la réutilisation des eaux usées au Maroc (élaboré par Soudi pour l'étude MEC-USAID (2012)⁷

Cette figure permet de mettre en exergue que la révision des normes ne devra pas se limiter au maillon « qualité de l'effluent traité » mais devra considérer toute la filière « eau » depuis l'amont avec les risques qui lui sont associés (intrusion des eaux industrielles, eaux pluviales, etc.) jusqu'aux pratiques de réutilisation et de gestion des risques situées à l'aval de la filière.

Boujâad, Drarga, Guelmim, Mediouana, Settât et Tiznit.

Le tableau 1 décrit de manière sommaire les projets examinés.

Tableau 1. Description sommaire des projets de réutilisation en cours à l'année 2013

Centres	Année de mise en place du projet	Volume actuel des eaux traitées (m ³ /jour)	Technologie de traitement	Gestionnaire	Superficie potentielle irrigable (estimation grossière)
Boujâad [§]		2000 ????	Lagunage naturel /secondaire		54 ha
Drarga	1999	850	Infiltration percolation + composante de dénitrification	Commune et puis ONEP	> 50 ha
Guelmim	2010	5700	Lagunage : niveau secondaire Le traitement tertiaire est en cours de mise en place	ONEP	> 300 ha
Mediouna [§]		2800			110 ha
Settat	2006	13 500	Lagunage naturel avec traitement tertiaire	Régie	> 400 ha
Tiznit	2006	4900	Lagunage naturel avec traitement tertiaire	ONEP	> 340 ha

§ : Projets en cours de diagnostic

Ces projets sont succinctement décrits ci-après :

Cas de Drarga (à 15 km d'Agadir sur la route vers Marrakech)

La Station d'épuration (STEP) a été initialement gérée, soit à partir de 1996, par une association (Association Al Amal) avant qu'elle soit récupérée par la commune une fois l'association s'est heurtée à des insuffisances financières et techniques en matière d'exploitation et de maintenance. La STEP, sous la gérance de la commune, a connu aussi quelques difficultés notamment en matière de maintenance des ouvrages et des équipements. A partir de 2004, l'ONEP a repris, en gestion déléguée la gérance de la STEP.

En matière de réutilisation, des agriculteurs riverains ont été informés et sensibilisés sur les avantages de la réutilisation et sur le fait que la qualité des effluents permet une irrigation non restrictive. Les

niveau de traitement.

Ainsi, il ressort de cette expérience, que malgré l'implication des usagers potentiels à un stade précoce du projet, et malgré la qualité des eaux épurées permettant une réutilisation non restrictive, la réutilisation de la réutilisation est bloquée pour les principales raisons suivantes : faible enjeu en termes de superficie irrigable, cadre légal pas suffisamment clair : définition de l'eau usée dans la loi sur l'eau ne montre pas clairement la possibilité de vente de l'eau (en tant que bien public hydraulique qui n'appartient plus à l'opérateur), l'ONEP n'est pas une entité compétente de la réutilisation des eaux usées en agriculture, à aucun moment, il n'a été procédé à une demande de réutilisation au niveau de l'Agence, etc.

On constate qu'il s'agit d'un amalgame de causes institutionnelles et légales qui ont bloqué le projet.

Cas de Guelmim – Site de réutilisation dans la commune d'Asrir relevant de la province de Guelmim (située à environ 200 Km d'Agadir)

Ce projet est en cours de mise en place. Un périmètre de réutilisation a été délimité et une étude de faisabilité technique, agro-socio-économique et environnementale a été réalisée et a clairement démontrée que le projet est rentable et qu'il est peut être un modèle pour la région qui souffre d'un grand déficit hydrique et des effets de changement climatique. Une convention, superposée à la carte des contraintes, a été établie et validée. Tous les partenaires sont engagés.

Les contraintes rencontrées sont : la problématique de gestion du traitement complémentaire, la prise en charge des analyses des paramètres complémentaires par rapport à ceux couverts par l'opérateur (l'ONEP), le retard dans la concrétisation de l'aménagement du périmètre de réutilisation, etc. La réussite du projet est possible si les arrangements institutionnels relatés dans la convention passent à la pratique. Toutefois, il sera difficile de recouvrir le coût de m³ épuré et de prévoir une vente de l'eau dans ce contexte. Dans ce cas, il y a lieu de considérer les externalités positives du projet et de prévoir des mécanismes d'incitation et de subvention. En effet, l'irrigation, à terme, de près de 300 ha dans des oasis en dégénérescence est une affaire régaliennne. De la même façon, le goulot d'étranglement relatif aux conditions et pré-requis de demande d'autorisation risque encore de retarder le projet.

Cas de Settât (situé à environ 100 km de Casablanca) et Tiznit (située à environ 100km d'Agadir)

Ces projets tentent de démarrer depuis au moins 3 ou 4 ans (celui de Settât est plus ancien). Toutes les études nécessaires et préalables sont réalisées et les aménagements hydro-agricoles sont réalisés par les DPA. Toutefois, la réutilisation ne voit pas le jour étant donné que l'autorisation pour la réutilisation demeure toujours absente. Pour le cas de Tiznit par exemple, la commune a tenté de demander l'autorisation auprès de l'ABH mais il semble que le dossier n'est pas suffisamment renseigné notamment par les analyses de tous les paramètres prévus par l'Arrêté de 2002.

Pour le cas de Tiznit, le périmètre irrigable est de plus de 150 ha (selon le système d'irrigation) en 2015 et se répartit en trois zones (Atbbane, Doutourga, Targa N'zit).

concertée entre les parties prenantes,

- ➔ La réutilisation n'est pas intégrée dans la Gestion Intégrée des Ressources en Eau,
- ➔ Absence d'entité commune de Planification/pilotage de la REU et Insuffisance en mise en œuvre concertée entre les parties prenantes
- ➔ Compétition entre les eaux usées traitées et les eaux conventionnelles
- ➔ Régularité de l'offre face à l'inter – saisonnalité de la demande (coût de stockage)
- ➔ **Normes de qualités des eaux destinées à l'irrigation sont inadéquates et contraignantes :
Difficulté de mise en conformité à ces normes et le blocage conséquent de la procédure
de demande d'autorisation auprès de l'ABH**
- ➔ Difficultés de recouvrement des coûts liés notamment au traitement complémentaire et au rythme de suivi des paramètres de qualité des eaux destinées à l'irrigation dicté par l'Arrêté

II.1. RISQUES SANITAIRES

Les risques, communément associés à la réutilisation des eaux usées traitées, sont deux types : **microbiologique et chimique**. Les risques microbiologiques, les plus éminents, sont dus au fait que les eaux usées est une source majeure de pathogènes excrétés, à savoir les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes, qui causent des infections gastro-intestinales chez les êtres humains. Quant aux risques chimiques, ils sont liés aux substances potentiellement nocives telles que les métaux lourds, principalement, le plomb, le mercure et le cadmium, les Éléments Traces Métalliques (ETM) et les contaminants émergents tels que les substances pharmaceutiques.

Aussi, ces risques concernent aussi bien la santé humaine et qu'animale.

Pour plus de détail sur les risques associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation, il est recommandé de consulter les Volumes 1 et 2 de l'OMS (2006).

En somme, les pathogènes les plus préoccupants et susceptibles d'être véhiculés par les eaux domestiques sont les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (nématodes).

- **Les virus** sont les plus petits agents pathogènes du point de vue de la taille et comprennent les entérovirus hautement contagieux, l'hépatite A et E, et une gamme de virus provoquant des diarrhées et des gastroentérites. En raison de leur petite taille, ils sont capables de passer à dispositifs de filtration et peuvent être détectés dans l'eau potable, même après désinfection,
- **Les bactéries** sont les agents pathogènes les plus fréquents et les plus abondants et incluent les coliformes inoffensifs et pathogènes, les salmonelles, les entérocoques, etc. Elles provoquent des maladies d'origine hydrique classiques telles que la typhoïde, la dysenterie, le choléra et d'autres maladies gastro-intestinales, et
- **Les protozoaires** sont des parasites eucaryotes unicellulaires, qui survivent comme des kystes en dehors de leur hôte ; les plus courants étant Giardia lamblia et Cryptosporidium. Ils peuvent être désactivés en utilisant le rayonnement UV, mais sont assez résistants à la chloration,
- **Les helminthes** sont des parasites intestinaux, notamment des nématodes, des vers de bande, vers crochet, vers ronds et les vers de fouet. Ils produisent des œufs (ovules) qui peuvent survivre pendant des mois dans l'eau ou le sol

Les ordres de grandeur d'occurrence et de durée de survie de ces pathogènes sont résumés dans le tableau 2.

		domestiques [Nombre/100mL]	N50	Dans les EU	Dans les fèces /boue	Sur les cultures
Virus	0.01 – 0.3	$10^2 - 10^4$	1 - 10	<50	<20	<15
Bactéries	0.2 - 10	$10^7 - 10^{10}$				
Coliformes fécaux		$10^5 - 10^8$	$10^6 - 10^{10}$	<30	<50	<15
Salmonelle		$10^2 - 10^4$		<30	<30	<30
Sighele		$10^0 - 10^3$	10 - 20	<10	<10	<5
Protozoaire	10-50, Kystes : 4 - 6	$10^0 - 10^5$	1 - 20	<15	<15	<2
Helminthes	mm-cm, Œufs: 35 - 70	$10^0 - 10^3$	1-10	mois	mois	<30

Selon la synthèse réalisée par Soudi et Bazza (2003)⁸, les bactéries et les virus n'ont pas une grande survie dans le sol à cause de leur faible compétitivité (Elliott and Ellis, 1977). Leur survie dépend également de plusieurs facteurs édaphiques et environnementaux : la température, l'ensoleillement, l'humidité, la matière organique du sol, le pH et la texture du sol (Watson, 1980⁹; Pahren et al. 1979¹⁰). Les parasites notamment les helminthes peuvent persister des mois dans le sol.

Le tableau 3 relate des ordres de grandeur de la durée de survie des pathogènes dans le sol et sur la plante.

Tableau 3. Durée de survie des pathogènes dans le sol et sur la plante (Doran et al. 1976)¹¹

Pathogènes	Durée de survie (en jours)	
	Surface de la plante	Dans le sol
Bactéries		
Salmonelle	1-42	7-168
Shigella	1-7	
Mycobacterium	10-49	90-450
Leptospira		15-43
Erysipelothrix		21
Virus		
Entérovirus	4	27-170
Poliovirus		32
Parasites :		
Entamoeba histolytica	3	8
Ascaris lumbricoides ova	27-35	2-6 <u>ans</u>

⁸ Soudi, B. et M. Bazza .2003. Manuel d'utilisation des boues résiduaires issues des stations d'épuration des eaux usées : État de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient

⁹ Watson D.C.(1980). "The Survival of Salmonellae in Sewage Sludge Applied to Arable Land." *Water Pollution Control* 70:11-18

- survie varie de quelques jours pour une irrigation estivale, à trois mois pour une application hivernale ;
- les températures élevées au niveau de la surface du sol et la dessiccation sont des facteurs importants d'élimination des virus et des bactéries;
- La texture du sol, et par conséquent la surface spécifique ainsi que la CEC, favorisent l'adsorption des virus ce qui augmente leur survie tout en les gardant hors hôtes;
- La contamination des eaux souterraines par les virus est possible dans les sols de texture très grossière.

On peut déduire de ce qui précède que les conditions climatiques, notamment la température et l'ensoleillement, dans la région d'Afrique du Nord et du Moyen Orient sont très favorables à l'élimination des bactéries et des virus.

II.2. RISQUES AGRO-ENVIRONNEMENTAUX

Sur le plan environnemental, l'irrigation avec des eaux usées traitées peut entraîner, en cas de non-respect de bonnes pratiques de réutilisation, plusieurs processus de détérioration de la qualité des sols¹². Le tableau 4 montre les principaux constituants des eaux usées, les paramètres correspondants et leur signification.

Tableau 4. Principaux paramètres des eaux usées susceptibles d'impacter les sols, les eaux et les cultures ou végétaux

Paramètre	Signification / impacts
Matières solides en suspension MES	Les MES peuvent conduire à un colmatage physique ou biologique et donc une réduction de l'aération du sol des conditions anaérobies. Des quantités excessives causent l'obstruction des systèmes d'irrigation localisée (les goutteurs, etc.)
Composés organiques biodégradables (DCO, DBO)	Mesure de carbone organique car sa décomposition biologique peut conduire à l'épuisement de l'oxygène. En faibles quantités, c'est une source bénéfique de matière organique
Nutriments N, P, K	Lorsque ces éléments (en particulier N et P) sont déversés dans le milieu aquatique, ils conduisent à l'eutrophisation. En matière d'irrigation, ils sont bénéfiques pour la nutrition des sols. En cas d'excès d'azote, il y a risque de contamination de la nappe par les nitrates.
Composés organiques stables (ex. phénols, pesticides , etc.)	Certains sont toxiques dans l'environnement et s'accumulent dans les sols
pH	Influence la solubilité des métaux, l'alcalinité et la structure du sol et la croissance des plantes.
Éléments traces métalliques	Toxicité vis-vis de l'activité biologique du sol et peuvent être transférer vers les végétaux et intoxiquer via des chaînes trophiques l'Homme et les animaux
Éléments inorganiques dissous (TDS, CE, SAR)	TDS : Total Dissolved Salts (Poids total des sels dissous) en g/L CE : Conductivité électrique (en mS/cm) : il renseigne sur la salinité globale de l'eau usées et sur le risque de salinisation des sols. SAR : Sodium Adsorption Ratio (Taux d'Adsorption de Sodium : il renseigne sur la richesse relative de l'eau en sodium (cation dispersant) comparativement aux cations flocculants. le calcium et le magnésium ($SAR = (Na / (Ca+Mg))^{1/2}$) : si ce ratio est élevé

risque, c'est-à-dire des nappes libres proches de la surface du sol dans des réservoirs avec une perméabilité élevée¹³. Ainsi, le degré d'expression des effets des paramètres des eaux usées varie d'une situation à l'autre. Il s'agit là déjà d'une démarche de maîtrise des risques à l'aval de la station d'épuration.

DE REVISION DE NM-QUEDI

III.1. LES CRITERES ET PARAMETRES IMPORTANTS

La première étape essentielle et préalable à la révision des normes réside dans l'identification des critères les plus importants et les plus pertinents pour l'évaluation de l'aptitude des eaux usées traitées pour l'usage en irrigation.

Ainsi, les principaux critères ou paramètres retenus et qui devront être considérées sont succinctement présentés ci-après¹⁴.

III.1.1. Paramètres biologiques

Deux catégories de pathogènes sont à considérer dans les normes de réutilisation des eaux usées :

- Les Coliformes Totaux (CT) et les Coliformes Fécaux (CF) qui sont utilisés comme indicateurs de contamination bactérienne ; et
- Les œufs d'Helminthes ou nématodes intestinaux qui correspondent à la contamination par les parasites.

Les directives préconisées au Japon considèrent l'E. Coli Non détecté /100 ml comme un nouveau critère au lieu des coliformes fécaux (CF). Il semble, d'après ces directives, que le critère CF n'est pas nécessairement adapté en tant qu'indicateur à la contamination par les excréments. D'ailleurs, l'E. Coli ND/100 ml, a été défini comme critère de qualité pour l'eau potable au Japon depuis 2003. Il est aussi récemment adopté dans la nouvelle norme de réutilisation des eaux usées en Jordanie. Ce critère a aussi l'avantage d'être déterminé par une méthode de culture rapide et facile.

III.1.2. Paramètres chimiques et physico-chimiques

Des paramètres chimiques doivent être considérés à côté des paramètres biologiques dans la réglementation de la réutilisation des eaux usées traitées. Ces paramètres sont aussi en relation avec la protection de la santé et de l'environnement (sol, eau, ...). Les risques évalués par ces paramètres ont été développés plus haut.

Les paramètres chimiques importants à considérer sont les suivants :

- Matières solides en suspension (MES)
- Composés organiques biodégradables (DCO, DBO)

Conductivité électrique (CE), l'aux d'Adsorption de sodium (SAR), Poids total des sels dissous (TDS), Carbonate de sodium résiduel (RSC), Bore.

III.2. LES APPROCHES POUR L'ETABLISSEMENT DES NORMES MICROBIOLOGIQUES

Si les paramètres chimiques font l'objet de moins de controverse et de divergence en termes d'approches de normalisation, ce n'est pas le cas pour les paramètres biologiques. En effet, différentes approches sont adoptées pour l'établissement des normes et standards microbiologiques. Selon Kramer et Post (2010 ¹⁵, les différentes approches adoptées pour l'établissement des normes et standards microbiologiques sont succinctement décrites dans le tableau 5.

Tableau 5. Les différentes approches adoptées pour l'établissement des normes et standards microbiologiques de réutilisation des eaux usées

Approche normative	Signification et portée
Absence d'indicateurs fécaux bactériens dans les eaux usées	Cette approche a conduit à des directives qui exigent « zéro » coliformes fécaux - bactéries/100 ml pour la réutilisation des eaux usées en irrigation des cultures dont les produits sont consommés à l'état cru. Ceci requiert, en plus de traitement secondaire, une désinfection et une filtration. Il s'agit de directives strictes adoptées notamment par US - EPA.
Pas d'excès mesurable chez la population exposée	L'objectif de cette approche est qu'il ne devrait pas y avoir de risque réel d'infection ; en d'autres termes, il ne devrait y avoir aucun excès de risque mesurable d'une infection due à la réutilisation des eaux usées évalué par des études épidémiologiques. C'est l'approche adoptée dans les directives de l'OMS 1989, pour lesquelles la preuve épidémiologique a été utilisée (le cas échéant); Cependant, les résultats de toute étude donnée sont généralement contextuelles (lieu et période de l'étude). L'extrapolation des résultats à d'autres contextes devra se baser sur des hypothèses relatives à l'évolution des variables, telles que le contact avec les eaux usées, ce qui pourrait affecter le résultat. En termes scientifiques, l'évaluation des risques réels pour la santé continue à être un sujet de controverse, il y a peu d'études épidémiologiques disponibles qui permettent une pondération précise des risques et les études ne sont pas suffisamment orientées vers la pratique pour permettre que les résultats soient traduits en mesures concrètes.
Un modèle de risque généré qui est inférieur au risque acceptable défini	Dans cette approche, un risque d'infection acceptable est d'abord défini pour la contamination microbiologique de l'eau potable. L'US - EPA a mis en place un risque annuel de 10^{-4} par personne. Une fois le risque annuel acceptable établi, le modèle d'évaluation du Risque microbien quantitatif (QMRA) est utilisé pour générer une estimation annuelle du risque d'infection.

des risques	additionnels, techniques et non techniques, en relation avec les préoccupations sanitaires. Ces nouvelles préconisations de l'OMS (2006)⁵ développent le concept d'évaluation et de gestion des risques et décrivent les méthodes de leur évaluation, formule les moyens pour rabattre, partiellement ou totalement, les concentrations en germes pathogènes et recommande des mesures additionnelles de prévention et de protection sanitaires. Ces mesures sont variées et se situent, comme il sera développé plus loin, à différents maillons de la filière Traitement – Réutilisation des eaux usées.
-------------	---

Les chercheurs se partagent globalement en deux écoles d'approche en ce qui concerne le niveau approprié des œufs d'helminthes et des coliformes fécaux dans les eaux usées traitées destinées à l'irrigation :

- L'approche de l'OMS basée sur un niveau épidémiologique moins restrictive avec des mesures additionnelles de protection, et
- L'approche américaine, plus restrictive, basée sur « zéro risque ou absence de risque ».

Cette approche « risque zéro » est pratiquement non faisable pour la plupart des pays en développement étant donnés les faibles capacités financières et les coûts élevés de traitement des eaux.

Ainsi, un développement approprié de normes et de directives devra, selon Kramer et Post (2010), différencier entre **le Risque Potentiel** et **le Risque Actuel ou Réel** pour contracter une maladie liée à la réutilisation des eaux usées traitées.

Le risque actuel ou réel dépend de divers facteurs : la survie des pathogènes dans l'eau et le sol (Cf. tableau 3), la dose d'infectiosité et l'immunité de l'Hôte. En plus de ces paramètres, les niveaux de risque sanitaire, encouru par les populations exposées, dépendent d'un certain nombre d'autres facteurs et pratiques : la méthode d'irrigation, le choix des cultures, pratiques préventives post-récolte, etc. Parmi ces facteurs, l'approche qui sera adoptée pour la révision de NM-QUEDI, se basera entre autres sur :

- Le niveau de restriction des cultures ou choix de cultures adaptées au niveau de la qualité des eaux usées traitées,
- Les techniques d'irrigation,
- Le contrôle des populations exposées, et
- Les mesures additionnelles en termes de bonnes pratiques de réutilisation et de mesures de réduction des risques

Ces aspects seront développés, en tant que dispositions additionnelles aux spécifications formulées par le projet de révision des normes de qualité destinées à l'irrigation au Maroc.

On se propose de présenter les normes et directives les plus adoptées à l'échelle internationale en procédant, chaque fois que c'est possible, à une revue critique de celles en vigueur au Maroc (Arrêté n° 1276-01 du 10 Châabane 1423 (17 Octobre, 2002).

Les directives d'interprétation de la qualité physico-chimique de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Wescot (1985)¹⁶, sont rapportées dans le tableau 6.

Tableau 6. Directives d'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation (adapté d'Ayers et Wescot (1985)

Problème potentiel et paramètres correspondants	Unité	Degré de restriction de l'usage		
		Sans restriction	Léger à modéré	Sévère
Salinité (impacts sur le sol et les rendements des cultures)				
CE (Conductivité électrique à 25°C))	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TDS (Poids total des sels dissous)	mg/L	< 450	450 - 2000	>
SAR et CE : impacts sur la sodification du sol et le taux d'infiltration				
SAR = 0 - 3 et CE	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 - 6 et CE	dS/m	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6 - 12 et CE	dS/m	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12 - 20 et CE	dS/m	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20 - 40 et CE	dS/m	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité spécifique (impacts sur les cultures et les végétaux de manière générale)				
Na Irrigation de surface	még/L	< 3	3 - 9	> 9
Na Irrigation par aspersion	még/L	< 3	> 3	
Cl Irrigation de surface	még/L	< 4	4 - 10	> 10
Cl Irrigation par aspersion	még/L	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/L	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Azote (N-NO ₃)	mg/L	< 5	5 - 30	> 30

D'autres directives, focalisées sur la salinité exprimée en termes de tolérance des cultures à la salinité (CE) et au Bore, ont été également proposées (Tableau 7).

(mS/cm)	>3.0	Asperges, les palmiers dattiers, orge, bled, tomate, courges, aubergines, maïs doux, pomme de terre, luzerne, roquette, persil
B (mg/L)	0.5 – 0.75	Citronnier
	0.75 - 1	Blé et fraises (petits fruits rouges)
	1 -	poivron, carotte, pomme de terre, concombre, laitue
	4 -	luzerne, persil, tomate
	6 - 15	asperges, céleri

Les normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation adoptées depuis 1991 en Turquie sont rapportées dans le tableau 8. Ces normes sont inspirées de celles de la FAO et des normes américaines de Riverside.

Table 8: Critères de qualité des effluents d'eaux usées destinées à l'irrigation

Critère de qualité de l'effluent	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
CE 25 * 10 ⁶ (µmhos/cm)	0 -250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
(Na en %)	<20	20-40	40-60	60-80	>80
SAR	<10	10-18	18-26	<26	
Carbonate de sodium résiduel (RSC) még/l					
	<1.25	1.25-2.5	>2.5	12-20	
	<66	66-133	>133	625-710	
Chlore (Cl) még/l mg/l					
	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
	0-142	142-249	249-426	626-710	>710
Sulfate (SO ₄) meq/l mg/l					
	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
	0-192	192-336	336-575	576-960	>960
Poids total des sels mg/l	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	>2100
Bore (mg/l)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	2.0	-
NO ₃ ou NH ₄	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
MES (mg/l)	20	30	45	60	>100
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6-9	<6 or >9
Température (°C)	30	30	35	40	>40

Classe I: effluent de très bonne qualité; Classe II: effluent de bonne qualité ; Classe III : Effluent utilisable ; Classe IV : Effluent utilisable avec précaution ; Classe V : Effluent non utilisable

L'anion bicarbonate (HCO_3^-)

La concentration de cet anion en milieu sodique aux pH basiques est relativement élevée et il peut en résulter la précipitation des cations de la solution du sol selon, à titre d'exemple, la réaction suivante : $\text{Zn}_2^+ + 2 \text{HCO}_3^- = 2\text{ZnCO}_3$. Comme le micro-élément zinc (Zn_2^+), en présence de l'anion bicarbonate, précipite en carbonate de zinc et sa disponibilité aux plantes diminue, les cations cuivre (Cu_2^+), fer (Fe_3^+) etc. précipitent de la même façon et leurs disponibilités diminuent aussi. Ceci constitue donc un problème nutritionnel majeur que rencontrent les plantes cultivées dans les sols salsodiques et qui peut engendrer des diminutions notables des rendements.

Aussi, l'anion bicarbonate cause la précipitation des cations calcium (Ca_2^+) et magnésium (Mg_2^+) de la même façon ce qui résulte dans l'augmentation du SAR (Rapport d'Adsorption du Sodium) et par conséquent l'augmentation du ESR (Rapport du Sodium Echangeable) et du ESP (Pourcentage du Sodium Echangeable), paramètres fondamentaux de la sodicité ou alcalinité des sols.

L'anion chlorure (Cl^-)

Bien qu'élément indispensable à la vie des plantes mais en très petites quantités, l'anion Cl^- devient toxique dès que les seuils de toxicité (variables selon les plantes) sont atteints. Avec les autres anions majeurs, le chlorure accompagne souvent et en quantités appréciables les cations et participe ainsi au processus de salinisation. Mais ce qui est encore plus important à souligner c'est la toxicité fréquente et importante que cause cet élément aux plantes cultivées sur des sols affectés par la salsodisation et les diminutions des rendements qui en résultent.

Le bore

Le bore est toxique pour plusieurs espèces végétales à des niveaux légèrement supérieurs à ceux exigés par les plantes pour une croissance et un développement normaux. **Cette toxicité est souvent associée aux caractères arides et semi-arides du climat où la concentration de l'anion borate est souvent élevée dans les sols.** La connaissance de la concentration en cet élément dans les eaux usées traitées et des eaux d'irrigation dans de telles régions est particulièrement importante. En Turquie, une importance particulière est accordée à l'élément "Bore" Le tableau 9 relate la classification des eaux d'irrigation en fonction du degré de sensibilité des plantes au bore.

Tableau 9: Classification des eaux d'irrigation en fonction de la sensibilité des plantes au bore (Source: Medaware, 2005)

Classification de l'eau d'irrigation	Bore (mg/l) Plantes sensibles*	Bore (mg/l) plantes semi-sensibles *	Bore (mg/l) Plantes tolérantes ***
I	< 0.33	< 0.67	< 1.0
II	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
III	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
IV	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
V	> 1.25	> 2.50	> 3.75

* **EXEMPLES:** Noyer, agrumes, figuier, pommier, vigne, haricots

Analyse critique des normes actuellement adoptées au Maroc

Nombre de faiblesses caractérisent les normes marocaines (actuelles) de qualité des eaux destinées à l'irrigation en ce qui concerne les paramètres physico-chimiques affichés par le tableau 10. Les paramètres explicités ci-après ont une importance de taille dans nos régions arides.

Leurs limites des paramètres physico-chimiques d'après les normes marocaines de la qualité des eaux destinées à l'irrigation

Limites des paramètres physico-chimiques		Commentaires
Salinité totale (STD) mg/l	7680	Problème de terminologie : Il ne s'agit pas de salinité totale mais de Poids Total des Sels Dissous (proche du résidu). La salinité globale est exprimée en concentration totale des électrolytes ($C = CE \times 10$) et s'exprime en méq/litre. En outre cette valeur est trop élevée par rapport à plusieurs normes : Normes de Jordanie (2006) : valeur seuil égale à 1500 mg/l
Conductivité électrique (CE) ms/cm à 25°C	12	Seuil très élevé. Il s'agit de la limite maximale de la FAO qui traduit une restriction élevée. La plupart des normes se situent entre 0.7 et 3 mS/cm
Le SAR** = $\frac{CE}{\sqrt{C_{Ca} + C_{Mg}}}$ = 0 - 3 et CE	<0,2	Ces valeurs correspondent à la limite extrême de la FAO ¹⁸ qui correspond à un degré de restriction sévère. Elles permettent de catégoriser en classes sachant que les sols et les cultures se caractérisent par des niveaux de vulnérabilité dus à la texture des sols et la sensibilité des plantes.
CE =	<0,3	
CE =	<0,5	
CE =	<1,3	
CE =	<3	
(affectant les cultures sensibles)		
Le SAR (a)		Des classes de SAR devront être définies. En effet, des valeurs élevées de SAR augmenteront le risque de sodification des sols exprimée par le Pourcentage de sodium Échangeable (ESP). Ceci est valable quelque soit le système d'irrigation. La tolérance estimée à sept fois moins pour le cas de l'irrigation par aspersion ne peut pas être scientifiquement justifiée.
Le SAR en surface (SAR)	9	
Le SAR par aspersion (mg/l)	69	
Le SAR (Cl)		
Le SAR de surface (mg/l)	350	
Le SAR par aspersion (mg/l)	105	0.5 en Espagne (2007) ; 1mg/l en Italie (décret ministériel n°185 du 12 juin 2003)
Le SAR (mg/l)	3	
(affectant les cultures sensibles)		
Température (°C)	35	
	6,5-8,4	

n suspension en mg/l gravitaire/ Irrigation par et localisée	200 / 100	La valeur avancée est maximale pour l'irrigation localisée (voir tableau suivant/source FAO/ ada (1982) Qualité de l'eau traitée et risque de colmatage physique et biologique du système d'irrigation lo				
		Problème potentiel		Unités	Degré de restriction de	
					Aucun	Faible à modéré
		Physique				
		MES	mg/l	< 50	50- 100	
		Chimique				
		pH		< 7.0	7.0 - 8.0	
		Solides dissous	mg/l	< 500	500-2000	
		Manganèse	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	
		Fer	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	
		Sulfure d'hydrogène	mg/l	< 0.5	0.5 - 2.0	

Aussi, l'effet de MES de ne se manifeste pas seulement en termes de bouchage du système d'irrigation mais s colmatage des sols en fonction de leurs propriétés physiques et notamment la texture. Les considérations su peuvent être adoptées:

Colmatage du sol (si MES > 100 mg/l ; pH > 8)

Sol argileux en surface : forte microporosité et donc bouchage des pores et par conséquent l'infiltration de l'e tendance au ruissellement ou à la stagnation d'eau augmente. L'échange gazeux entre l'air ambiant et l'air d l'activité du sol diminue.

Sol sableux en surface : le colmatage se fait en profondeur.

La seule mesure de la turbidité ne permet pas d'apprécier la totalité de la charge en M.E.S. d'une eau ré détermination du pouvoir colmatant donne une indication supplémentaire concernant cette charge. Le pouv déterminé par la méthode de Beaudrey (AFNOR, 1973)¹⁹ est donné par l'équation :

$C_B = (1\ 000/W_m) = (1\ 000/ V_{14}) \times (D_0 - D)$

Wm = volume limite qui serait réalisé si la toile métallique avait le débit original de 14 cm³/cm².s

D0 : le débit initial suivant lequel cette eau traverse le colmatomètre

D : le débit momentané lorsqu'un volume V est déjà passé à travers le colmatomètre.

La méthode est basée sur le principe suivant : lorsqu'une eau ne contenant aucune matière en suspension charge hydraulique constante une toile filtrante, son débit est constant, et les volumes recueillis sont pr temps de passage. S'il s'agit d'eau chargée en matières en suspension, le volume qui assure le colmatage limite vers laquelle tend asymptotiquement le volume filtré. C'est le « volume limite ». L'inverse de ce volu pouvoir colmatant. Selon Beaudry, on peut appliquer les normes suivantes :

		- Eaux comatantes : $C_B > 0.7$ - Eaux peu comatantes : $0.1 < C_B < 0.7$ - Eaux très peu comatantes : $C_B < 0.1$ Cette méthode a été testée et recommandée par Djedidi et Hassen (1991) dans le cas des sols tunisiens similaires marocains.																
nitrique (N-NO ₃) en mg/l	30	Il s'agit de la valeur maximale tolérée selon la directive FAO																
te (HCO ₃) (Irrigation par en mg/l)	518	C'est un paramètre important qui exprime le risque de brûlure du feuillage. Toutefois, il est aussi intéressant de connaître le Carbonate de Sodium résiduel –RSC). Les risques des bicarbonates pour l'eau d'irrigation s'expriment comme suit : Une forte teneur en carbonate (CO₃⁼) et en bicarbonate (HCO₃⁻) augmente la valeur du S.A.R (environ >3-4mg/240mg/L milliéquivalents/ litre). Ceci s'explique par le fait que les ions carbonate et bicarbonate combinés avec le calcium et le magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO₃) ou carbonate de magnésium (MgCO₃) dans les conditions de sécheresse. Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, en comparaison la teneur sodium et l'indice SAR deviennent importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau montre un pH élevé, ce peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate. Carbonate de Sodium Résiduel (RSC) Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante: $RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ C'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au Mg et au Ca. Cette valeur peut apparaître dans le rapport d'analyse d'eau. Si le RSC < 1.25, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation Si le RSC > 1.25 l'eau n'est pas appropriée à l'irrigation <table><tr><th colspan="4">Risques des Bicarbonates (HCO₃) pour l'eau d'irrigation (meq/L)</th></tr><tr><th></th><th>Nul</th><th>Léger à Modéré</th><th>Sévère</th></tr><tr><td>(meq/L)</td><td><1.5</td><td>1.5-7.5</td><td>>7.5</td></tr><tr><td>RSC</td><td><1.25</td><td>1.25 - 2.5</td><td>>2.5</td></tr></table> Pour plus d'information : http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/bicarbonate/irrigation/bicarbonate-irrigation.htm#ixzz2SM6kqDnQ	Risques des Bicarbonates (HCO ₃) pour l'eau d'irrigation (meq/L)					Nul	Léger à Modéré	Sévère	(meq/L)	<1.5	1.5-7.5	>7.5	RSC	<1.25	1.25 - 2.5	>2.5
Risques des Bicarbonates (HCO ₃) pour l'eau d'irrigation (meq/L)																		
	Nul	Léger à Modéré	Sévère															
(meq/L)	<1.5	1.5-7.5	>7.5															
RSC	<1.25	1.25 - 2.5	>2.5															
CaCO ₃ en mg/l	250	Raisonné par rapport aux normes internationales																

III.3.3. Paramètres relatifs aux éléments traces métalliques et aux éléments toxiques inorganiques

III.3.3.1. Revue des références internationales

En ce qui concerne les métaux lourds ou Éléments Traces Métalliques (ETM) et les autres substances inorganiques toxiques, on se propose de dresser la comparaison des normes internationales relatée par le tableau II. On constate qu'elles varient d'un pays à l'autre mais demeurent comparables pour la plupart des éléments et substances.

Pour les éléments traces métalliques et d'après le rapport de l'AFSSA (2008)²⁰, une revue de la littérature a permis de tirer les conclusions suivantes :

- i. Les eaux usées traitées peuvent représenter à long terme un risque d'accumulation d'ETM sur les sols,
- ii. La surveillance des flux induits sur les sols lors de l'utilisation des eaux usées traitées est faisable et souhaitable et surtout lors d'une étude à conduire la première année,
- iii. Les éléments retenus pour la surveillance des flux induits par l'utilisation des eaux usées traitées doivent être ceux de la réglementation des épandages de boues (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Se). Toutefois, il est important de noter que les boues sont un compartiment intégrateur des ETM ; qui sont présents dans les eaux usées traitées avec une fluctuation temporelle. ***La stratégie de surveillance doit être construite en ce sens : les ETM seront suivis dans les eaux lors de l'étude préalable de mise en place de l'opération pour réaliser le calcul des flux d'ETM induits sur les parcelles irriguées.*** Ce suivi sera effectué en routine par la mesure des ETM dans les boues (leur qualité devant être mise en regard du fonctionnement de la STEP), et
- iv. Le risque sanitaire via l'irrigation par les eaux traitées est comparable ou inférieur à celui induit par les épandages de boues de station d'épuration. Ce risque est faible pour les apports et les concentrations prévus par la réglementation sur les boues.

III.3.3.2. Analyse critique des normes actuellement adoptées au Maroc et recommandations

Globalement, les normes marocaines s'inspirent en grande partie des normes de la FAO et sont proches aux valeurs adoptées par la réglementation espagnole (décret 1620/2007 du 7 décembre 2007) et italienne (décret ministériel n°185 du 12 juin 2003).

Les paramètres qui méritent d'être revus sont :

- Les Cyanures, et
- Les phénols.

En effet, les valeurs seuils qui leur sont affectées sont significativement élevées par rapport aux normes

²⁰ AFSSA. 2008. Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation. Avis relatif à un projet d'arrêté fixant les prescriptions techniques, les modalités de mise en œuvre et de surveillance applicables à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires des collectivités territoriales pour l'arrosage ou l'irrigation de cultures ou d'espaces verts

en vigueur notamment dans la région de MENA. En ce qui concerne les phénols, la source importante à surveiller dans le contexte marocain, et notamment dans les régions oléicoles, réside dans le rejet des margines dans les réseaux des eaux usées domestiques.

Par contre, les concentrations de cuivre et de cadmium peuvent être légèrement rehaussées conformément à la norme récente adoptée en Espagne (décret 1620/2007 du 7 décembre 2007) :

- Cuivre (Cu) : à 1.0 mg/L au lieu de 0.2 mg/L, et
- Cadmium (Cd) : 0.05 mg/L au lieu de 0.01 mg/L.

Sur la base des réflexions développées par Soudi (2003)²¹, et des conclusions formulées par AFSSA (2008), dans son rapport relatant l'avis relatif à un projet d'arrêté fixant les prescriptions techniques, les modalités de mise en œuvre et de surveillance applicables à l'utilisation des eaux usées traitées, on peut déduire les recommandations majeures pour le Maroc :

- i. Réaliser une surveillance des ETM dans les eaux usées traitées pendant la première année de réutilisation des eaux usées en vue de les comparer aux valeurs seuils retenues et d'évaluer le potentiel d'accumulation dans les sols,
- ii. Réduire la fréquence de suivi des ETM dans les eaux usées traitées à **au plus une fois par an** et dans le cas où on soupçonne l'intrusion de rejets susceptibles de véhiculer les ETM vers la STEP,
- iii. Focaliser le contrôle et la surveillance des ETM dans les boues, après chaque curage ;
- iv. Effectuer un suivi, **au plus tous les deux ou trois ans**, des principaux ETM (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Se) dans les boues (en tant qu'indicateurs de pollution) et dans les sols pour examiner le niveau d'accumulation

De là, nous pouvons déduire la nécessité d'accélérer la mise en place d'une réglementation des boues.

²¹ Soudi, B. 2003. *Manuel d'utilisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration des eaux usées : Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient*. Préparé pour la FAO

comparaison des niveaux de paramètres toxiques adoptées pour la réutilisation des eaux usées traitées dans différents pays

	Maroc	Espagne	Italie	France	EPA		Arabie Saoudite	Turquie	Jordanie	Israël	Kuwait	Oman		Syrie		Tunisie	
					Long terme	Court terme						A	B	LT	CT		
	0,001	0,001	0,001				0,001		0,002	0,002	0,002	0,001	0,001			0,001	
	0,01	0,05	0,005 ?	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0
	0,1	0,02	0,02	0,1	0,1	2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2	0,1	
)	0,1	0,1	0,1		0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,05	0,05	0,1	1	0,1	
	5	0,1	0,1	5				5	5	0,1	0,5	0,1	0,2				
	0,2	1,0	1,0					0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	1	0,2	5	0,5	
	2	0,5	0,5	0,005	2	10	4	2	5	2	2	5	5	2	10	5	
	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0
	1				1	15	2	1	1,5	2	25	1	2	1	15	3	
	1								0,01	0,1		0,05	0,1				
	3						0,002		<0,002		1	0,001	0,002	0,002	0,002		
	5		0,1	5	5	20	5	5	5	5	5	5	5	5	20		
	0,1	0,1		0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,3	0,1	0,5		
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	5	0,1	0
	5			5	5	20	5	5	5	2	5	1	5	5	20	0,5	
	2,5			2,5	2,5	2,5	0,07	2,5	2,5	2,5		0,07	0,07	2,5	2,5		
)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	0,2	10		
)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,05	0,01	0,05		0
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2	0,02	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	2	0,2	
	0,1	0,1	0,1	2	0,1	1		0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	1		

Long terme > 20 ans) ; CT : irrigation à court terme

Les légumes-feuilles sont susceptibles d'être consommés crus et Fruits susceptibles d'être consommés crus et à moins de 2 semaines après irrigation

Les légumes-racines sont susceptibles d'être consommés crus ou transformés ; Fruit si après arrêt d'irrigation de 2 semaines ; Cultures fourragères, céréalières et de production de graines.

III.3.3.4. Paramètres relatifs aux composés organiques dangereux

Selon l'AFSSA (2008²²), très peu de connaissances sont disponibles sur les concentrations des composés organiques toxiques dans les eaux usées traitées. Bachelot (2007) cité dans le rapport de l'AFSSA (2008), relate les concentrations d'un certain nombre de composés qui se trouvent dans les eaux usées traitées (Tableau I2). D'après ce même auteur, il semble que pour une majeure partie de ces molécules, les effets d'expositions chroniques à faibles doses ne sont pas ou peu connus.

Tableau I2 : Molécules organiques traces retrouvées dans les eaux usées (d'après Bachelot, 2007)

Composés traces organiques	Concentration dans les eaux usées traitées	Pays	Remarques	Auteurs cités par Bachelot, 2007
21 HAP	400 ng/l	Montréal – Canada	40 à 100% d'abattement en station d'épuration en fonction des HAP	Pham et Proulx, 1997
13 PCB	1,4 ng/l	Montréal – Canada	33 à 100% d'abattement en station d'épuration en fonction des congénères. Les moins chlorés sont les moins épurés	Pham et Proulx, 1997
Estrone (E1)	0,2 à 11 ng/l	Europe	Quantifiée dans 13 des 16 stations d'épuration européennes étudiées	Johnson et al., 2005
	16 ng/l	Rome – Italie	E1 est souvent retrouvée en plus grande concentration que les autres. C'est un produit de dégradation de E2 et E3	Lagana et al., 2004
17 β -Estradiol (E2)	0,7 à 5,7 ng/l	Europe	Quantifiée dans 6 des 16 stations d'épuration européennes étudiées	Johnson et al., 2005
	6 ng/l	Rome –Italie		Lagana et al.,
Estriol (E3)	1 ng/l	Rome – Italie		Lagana et al., 2004
17 α -Ethinylestradiol (EE2)	ND	Rome –Italie		Lagana et al.,
	1,1 à 2,8 ng/l	Europe	Quantifiée dans 2 des 16 stations d'épuration européennes étudiées	Johnson et al., 2005
Nonylphénol (mélange d'isomères)	< 55 000 ng/l (limite de détection)	Grèce	Egalement de dégradations des NPéthoxylates	Fountoulakis et al., 2005
	310 ng/l	Europe	Étude dans 14 stations d'épuration avec traitement secondaire	Johnson et al., 2005
	1649 ng/l	Rome -Italie	75 % d'abattement dans la station d'épuration	Lagana et al., 2004
Ecrans U.V. (mélange de molécules)	< 10 à 2 700 ng/l	Suisse	Taux d'abattement en station d'épuration variant de 12 à 99%	Balmer et al., 2005

Légende : ND : non détecté

²² AFSSA. 2008. Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation. Avis relatif à un projet d'arrêté fixant les prescriptions techniques, les modalités de mise en œuvre et de surveillance applicables à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires des collectivités territoriales pour l'arrosage ou l'irrigation de cultures ou d'espaces verts

- ii. Les molécules les plus hydrophobes persistent dans les eaux usées traitées et certaines peuvent s'accumuler dans les sols,
- iii. Les données d'impacts sanitaires sont peu nombreuses, compte tenu des faibles concentrations et de la faible migration de ces molécules vers les aliments, les risques sont jugés faibles,
- iv. Les risques pour les écosystèmes terrestres sont très peu connus, et
- v. Compte tenu de la diversité des molécules en jeu et de la méconnaissance des risques, *il est impossible de définir une liste opérationnelle de molécules à suivre dans le cadre d'une réglementation sur la réutilisation agricole des eaux usées traitées. Des recherches devraient être mises en place pour produire notamment une démarche de sélection des molécules à prendre prioritairement en compte en fonction des contextes locaux.*

De manière plus générale, une attention devrait être portée sur les impacts (sanitaires et environnementaux) d'une *possible accumulation des contaminants persistants dans les sols après une irrigation prolongée (plus de 10 ans).*

EN CONCLUSION, concernant les ETM et les composés organiques, on peut dire que le suivi se concentrera principalement dans les sols et éventuellement dans les boues.

Dans ce cadre, il est jugé utile de rapporter ici les niveaux tolérables définis par l'OMS (2006) des principales substances inorganiques et organiques dans les sols (Tableau 13).

Tableau 13. Concentration maximale tolérable des composés organiques et inorganiques dans le sol déterminée sur base du souci de protection sanitaire (OMS, 2006)

Composés inorganiques	Concentration dans le sol (mg/kg)	Composés organiques	Concentration dans le sol (mg/kg)
Ag	3	2,4-D (Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique)	0.
As	8	2,4,5-T (Acide 2,4,5-	3.
B	1	Aldrine	0.
Ba	3	chlordan	3
Be	0	Dieldrine	0.
Cd	4	lindane	1
F	6	DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane)	1.
Hg	7	PAHs (Polycyclic Aromatic	1
Mo	0	PCDs (Polychlorinated biphenyl)	0.
Ni	1	PCDDs	0.00012
Pb	8	Benzène	0.
Sb	3	Chlorobenzène	2
Se	6	Toluène	1
TI	0	Phthalate	13
V	4	Pyrène	4
		Styrène	0.
		Toxaphène	0.00

notamment le pH, la texture, la Capacité d'Echange Cationique et la teneur en matière organique, il est aussi recommandé de moduler les valeurs seuils dans l'eau et dans l'accumulation dans le sol (stock dans le sol, en mg/kg ou en Kg par hectare) en fonction de ces propriétés.

Pour cela, on se propose de rapporter quelques références permettant de guider la normalisation du suivi de ces paramètres. Ainsi, le tableau 14 relate les concentrations ou teneurs maximales permises, par la norme en vigueur en Turquie (selon MEDWARE, 2005)²⁴, des ETM et éléments toxiques suite à l'irrigation avec les eaux usées traitées

Tableau 14. : Concentrations ou teneurs maximales permises, par la norme en vigueur en Turquie (selon MEDWARE, 2005), des ETM et éléments toxiques suite à l'irrigation avec les eaux usées traitées (En Turquie)

Éléments	Quantité maximale dans le sol (kg/ha)	Concentration- limite maximale (dans l'eau usée traitée) pour différents types de sols sous irrigation continue (mg/l)	Concentration- limite maximale (dans l'eau usée traitée) pour un sol argileux de pH compris entre 6.0 et 8.5) pour une irrigation d'une durée < 20 ans
Aluminium	4,600	5.0	20.0
Arsenic	90	0.1	2.0
Beryllium	90	0.1	0.5
Boron	680	specified in Table 9 of the bulletin	2.0
Cadmium	9	0.01	0.05
Chromium	90	0.1	1.0
Cobalt	45	0.05	5.0
Copper	180	0.2	5.0
Fluoride	920	1.0	15.0
Iron	4,600	5.0	20.0
Lead	4,600	5.0	10.0
Lithium *	-	2.5	2.5
Manganese	920	0.2	10.0
Molybdenum	9	0.01	0.05*/**
Nickel	920	0.2	2.0
Selenium	18	0.02	0.02
Vanadium	-	0.1	1.0
Zinc	1,840	2.0	10.0

* 0.075 mg/l est recommandée pour l'irrigation des agrumes

** Concentration permise seulement dans les sols argileux acides avec une teneur élevée en fer

Étant donné le lien existant entre la CEC et la teneur en argile, d'autres normes plus simples, recommandées pour l'application des boues, sont basées sur la classe texturale du sol (Tableau 15). Toutefois, ces normes demeurent critiquables dans la mesure où la CEC dépend également de la nature minéralogique des argiles.

		très fin limoneux, limoneux	limoneux, sablo – argileux et argileux
Cd	0.5	0.5	5
Zn	10	30	60
Cu	5	14	30
Ni	2	6	10
Pb	20	60	110
Cr	20	60	110

Pour avoir des ordres de grandeur guidant ce processus de normalisation, on se propose de rapporter dans le tableau I 6, les teneurs limites en éléments -traces métalliques dans les sols agricoles (mg/kg sol sec), selon les différents pays de l'Union Européenne (OTV, 1997)²⁶.

Sur base du paramètre pH, il est recommandé de s'inspirer pour le cas du Maroc des valeurs limites proposées en Espagne.

Globalement, la plupart des sols du Maroc, à l'instar des pays du bassin méditerranéen, du Proche Orient et de l'Afrique du nord, à l'exception de quelques zones isolées, le pH des sols est à dominance neutre à franchement basique. Dans ce contexte, les seuils tolérés peuvent être majorés par rapport à la plupart des valeurs limites des pays du nord de l'Europe où les sols sont plus acides et donc, les ETM sont plus bio disponibles.

Teneurs limites en éléments -traces métalliques dans les sols agricoles (mg/kg sol sec), selon les différents pays de l'Union Européenne (UE) et la Suisse. D'après, OTV (1997)

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	As	Mo	F	Co	Ti
	1 à 3	100 à 200	50 à 140 (a)	1 à 1.5	30 75 (a)	50 à 300	150 à 300(a)	-	-		-	-	
	2	150	100	1	50	100	-	300	-	-		-	-
	1-1.5 (b)	100	60	1	50	100	10	150 à 200 (b)	-	-		-	-
Wallonie	1	100	50	1	50	100	-	150 à 200 (c)	-	-		-	-
	1	100	50-75 (d)	1	60-45(d)	50	-	150 à 225(d)	-	-		-	-
	3	150	140	1.5	75	300	-	300	-	-		-	-
Flandre, Flandre													
leux													
ols													
		30	40	0.5	15	40	-	100	-	-		-	-
	1	100	50	1	30	50	-	150	-	-		-	-
	3	150	210	1.5	112	300	-	450	-	-		-	-
	1 à 3	-	50 à 140	1 à 1.5	30-75	50 à 300	-	150 à 300	-	-		-	-
pH < 7	1	-	50	1	30	50	-	150	-	-		-	-
pH > 7	1.5	-	175	1.5	45	75	-	225	-	-		-	-
	1.5	(e)	100	1	75	100	-	300	-	-		-	-
	1 à 3	100 à 200	50 à 140 (a)	1 à 1.5	30 à 75(a)	50 à 300	-	150 à 300 (a)	-	-		-	-
	0.8	100	36	0.3	35	85	-	140	29	-		-	-
	Les teneurs - limites ne figurent pas dans l'arrêté: celles proposées par l'UE sont à l'étude et devraient être retenues												
25 cm)	3(h)	40	80(h)	1(h)	50(h)	300(h)	3	200(h)	50	4	500	-	-
	3(h)	400	100(h)	1(h)	60(h)	300(h)	3	250(h)	50	4	500	-	-
	3(h)	400	135(h)	1(h)	75(h)	300(h)	3	300(h)	50	4	500	-	-
	3(h)	400	200(h)	1(h)	110(h)	300(h)	3	450(h)	50	4	500	-	-
a)	3.5(i)	600	130	1.5	80	300	5	300	50	4	500	-	-
	3.5(i)	600	170	1.5	100	300	5	420	50	4	500	-	-
	3.5(i)	600	225	1.5	125	300	5	500	50	4	500	-	-
	3.5(i)	600	300	1.5	180	300	5	750	50	4	500	-	-

nevent être augmentées de 50 % si le pH du sol > 7 ;

ux ayant une teneur en MO < 5 %, les limites en Cd et en Zn sont de 1 et 150 mg/kg MS, sinon de 1.5 et 200 mg/kg;

ux ayant une teneur en matière organique < 5 %, la limite est de 150 mg/kg MS, sinon, elle est de 200 mg/kg MS;

sol est > 7, la teneur limite en Cu, Ni et Zn est respectivement égale à 75, 45 et 225 mg/kg de sol sec ;

tlet et James (1988) pour estimer la capacité du sol à oxyder Cr (III) en (Cr (VI) : si la quantité mesurée > ou égale à 1*mole de Cr (VI), le sol est déclaré impropre à recevoir les boues; a Directive UE;

d'un sol de bonne qualité" très riche en M.O avec au moins 25 % d'argile;

ementaires du S.I n° 1263 (1989);

rairies pâturées, 5 mg/kg si prairies temporaires destinées à la fenaison ou à l'ensilage;

e nitrique; (**) extrait nitrate de sodium; (***) Teneur hydrosoluble.

III.3.4. Paramètres microbiologiques : valeurs seuils et modulation en fonction du niveau de traitement et d'adoption, des plantes et des pratiques préventives

De nombreux pays en développement ont opté pour des normes restrictives dans leurs réglementations respectives. Cette restriction, en termes de valeurs seuils et de fréquence de monitoring, rend le suivi et le contrôle de ces paramètres très peu faisable. Ceci a conduit plusieurs pays, de réviser leurs normes de manière à ce qu'elles soient applicables tout en s'assurant du niveau de sécurité requis. Cette approche permet d'opérationnaliser la stratégie de réutilisation des eaux usées traitées dans ces pays.

C'est ainsi, qu'un benchmark avec les expériences internationales s'avère nécessaire. Dans le cadre de cette ébauche, le benchmark portera sur deux paquets de références :

- (i) les normes récentes adoptées par les pays du MENA, des pays du bassin méditerranéen et d'autres pays de climat plus ou moins comparable comme la Californie, et
- (ii) les normes recommandées par les organisations internationales (FAO, PNUE et OMS).

III.3.4.1. Normes dans les pays du MENA et du bassin méditerranéen

Les normes les plus récentes adoptées dans ces pays sont récapitulées dans le tableau 17.

Tableau 17. Comparaison entre les normes bactériologiques de REUT dans différent pays

Pays		E. Coli /100ml	Œufs d'helminthes/l	Autorisation pour les produits consommés crus	Code de bonnes pratiques
Maroc (2002)	A	1 000	Absente	Oui	Non
	B	Absence	Aucune norme n'est recommandée		
	C	Sans objet	Sans objet		
Jordanie (2006)	A*	<100	<=1	Non	Oui
	B*	<1000	<=1		
	C*	Sans limitation	<=1		
Kuwait		20	<1	Non	Oui
Tunisie		-	<1	Non	Oui
Arabie Saoudite		2,2	<1	Non	Oui
Liban (normes proposées par la FAO (2010)	I	CF : < 200	< 1	Non	
	II	CF : < 1000	< 1	Non	
	III	Sans objet	< 1	Non	
Syrie	A**	1 000	<1	Non	Oui
	B**	100 000	<1		
	C**	10 000	<1		
Oman	A***	200	<1	Oui	Oui
	B***	1000	<1		
Palestine		1000	<1	Non	Oui
Turquie (1991)	Calsse I	CF : 0-2			
	Calsse II	2 - 20			
	Classe III	20-10 ²			
	Classe IV	10 ² - 10 ³			
	Classe V	10 ³			
Espagne		10	<1	Oui	Oui
Grèce		10	<0,1	Non	Oui
Italie		10	-	-	Oui
Californie		2,2	-	-	Oui

A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics
B	Irrigation de cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés
A*	Légumes cuits, parcs, terrains de jeux et au bord des routes dans les limites de la ville.
B*	Arbres fruitiers, au bord de routes en dehors des limites de la ville.
C*	Grandes cultures, cultures industrielles et arbres forestiers
A**	Légumes cuits, parcs, terrains de jeux, bords de la route dans les zones urbaines et terrains de sport
B**	Arbres cultivés, bords de routes en dehors des zones urbaines, zones vertes, les céréales et les fourrages
C**	Cultures industrielles et zones de forêt
A***	Légumes susceptibles d'être consommés crus et Fruits susceptibles d'être consommés crus et à moins de 2 semaines de toute l'irrigation
B***	Légumes cuits ou transformés ; Fruit si pas d'irrigation 2 semaines avant la récolte; Cultures fourragères, céréalières et de production de graines.

I	Produits consommés à l'état cuit, irrigation des espaces verts avec accès au public
II	Arbres fruitiers, irrigation des espaces verts avec accès limité au public, retenues d'eau sans contact avec le public
III	Les céréales, les plantes oléagineuses, des fibres et des cultures de production de semences, les cultures dont les produits sont mis en conserve, les cultures industrielles, les arbres fruitiers (pas d'irrigation par aspersion); jardin d'écoles et des maternelles, les espaces verts et les parcs (ou forêts) sans accès au public
Classe I: effluent de très bonne qualité; Classe II: effluent de bonne qualité ; Classe III : Effluent utilisable ; Classe IV : Effluent utilisable avec précaution ; Classe V : Effluent non utilisable	

III.3.4.2. Normes recommandées par les organisations internationales (FAO, PNUE, OMS)

Rappel de l'approche et des principes préconisés

Dans ses anciennes directrices « *guidelines ou lignes directrices* » de 1989, l'OMS, a recommandé la mise en œuvre d'une approche assez stricte à barrière unique. Cette approche requiert un traitement des eaux usées qui rend l'eau traitée d'une qualité acceptable à des fins de réutilisation. En 2006, l'OMS, la FAO et le PNUE ont publié de nouvelles lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées traitées. Celles – ci encouragent l'utilisation de l'approche multi-barrières qui est relativement souple et moins contraignante. Cette approche combine et le traitement et la maîtrise des barrières post-traitement. Le tableau 18 relate une comparaison entre les anciennes et les nouvelles directives de l'OMS. La recherche de cette flexibilité est basée sur la compréhension de la situation socio-économique des pays en développement et le besoin urgent d'exploiter les eaux usées traitées dans les pays arides. Toutefois, il n'est en aucun cas acceptable d'utiliser des eaux usées partiellement traitées risquent de compromettre la santé des populations. Pour une adaptation rationnelle et la mise en œuvre de ces nouvelles directives, un système de gestion des risques doit être mis en place dans les zones où les eaux usées traitées sont réutilisées.

Tableau 18. Comparaison entre les anciennes et les nouvelles directives de l'OMS

Directives OMS (1989)	Directives OMS (2006)
E coli $\leq$ 1000 MPN/ 100ml	Le seuil de E coli varie de 1000 to 100 000 MPN/100 ml selon les mesures cible visant la protection de la santé
Dépendent de l'unique approche de traitement des eaux usées	Dépendent d'une multitude de barrières (mesures de contrôle)
Ne fournissent pas des solutions et mesures faisables pour la gestion du risque	Fournissent une approche intégrée de gestion des risqué tout u long de la filière traitement – réutilisation
Très peu faisables au niveau local	Peuvent être adoptées en fonction des conditions socio-économiques du pays

En somme deux principaux sont préconisés par ces nouvelles lignes directrices :

- **Approche à barrières multiples** : qui cherche à réduire les risques sanitaires à tous les maillons de la chaîne. Cette nouvelle approche combine les éléments : i) le traitement des eaux usées, ii) la restriction des cultures, iii) les techniques d'irrigation, iv) le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage et v) la désinfection et la cuisson des produits, et

- **Principe de la DALY (Disability Adjusted Life Year)** : qui est une mesure du temps de vie perdu à cause de la maladie par rapport à un idéal de vie en bonne santé. Il sert à quantifier (i) les années perdues du fait d'une mort prématurée et (ii) celles vécues avec un handicap. L'OMS fixe pour objectif de respecter **un seuil de risque de 10^{-6} DALY par personne et par an**, pour la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation directe. Ce principe peut être applicable à tout type de danger, qu'il soit d'ordre microbiologique, chimique ou radiologique.

TOUTEFOIS, selon le rapport de l'AFD (2011)²⁷, des responsables et groupes de réflexion français ont renoncé à utiliser les DALY pour les questions d'eaux car ces DALY dépendent très fortement des agents pathogènes concernées et des populations à risque selon leur mode alimentaire ou d'achat et préparation des aliments. Pour les experts français, il conviendrait de calculer des DALY pour chaque agent pathogène

S'agissant des œufs d'helminthes, il n'existe pas encore à ce jour de données suffisantes sur les risques infectieux et les DALYS par personne et par jour résultant d'une exposition aux EUT et aux espèces d'helminthes, telles que l'ascaris, qu'elles ont susceptibles de contenir. La valeur maximale de 1 œuf/litre repose cependant sur des études de terrain, notamment au Brésil pour les populations adultes. Des études mexicaines ont également montré que des mesures complémentaires peuvent devoir être prises pour les personnes de moins de 15 ans. Ces mesures complémentaires peuvent consister, soit à retenir le seuil maximal de 0,1 œuf/l, soit à mettre en place des mesures sanitaires collectives complémentaires (traitements antihelminthiques, lavage des légumes en solution désinfectante...).

Directives de l'OMS (2006) : Objectifs et moyens de réduction des germes pathogènes

► Modalités de réduction des concentrations de pathogènes

La réduction des germes pathogènes est approchée selon deux modalités : irrigation restrictive et irrigation non restrictive. Pour cela, l'OMS (2006) ont préconisé des valeurs – guides à titre indicatif. Les pays peuvent, en fonction de leurs contextes, élaborer leurs propres valeurs. Une relecture rapide des guidelines de l'OMS (2006) et en s'appuyant sur le rapport de l'AFD (2006) qui a analysé les principaux concepts développés par l'OMS, a permis de développer ci-après l'essentiel de recommandations.

► Modalité 1. Irrigation non restrictive des cultures

La modalité relative à une irrigation non restrictive correspond à la possibilité de consommation des produits agricoles à l'état cru. Selon le niveau de 10^{-6} DALY par personne et par an retenu par l'OMS et les simulations de gestion de risque, cette modalité correspond à une réduction du nombre de pathogènes de 6 U. Log pour la consommation de légumes de type feuille ou partie aérienne et de 7 U. Log pour les légumes « tubercules » comme les carottes, la pomme de terre, etc.

► Modalité 2. Irrigation restrictive des cultures

²⁷ AFD. 2011. Réutilisation des eaux usées traitées : perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action

Dans cette modalité, le risque concerne plutôt les agriculteurs ou travailleurs en contact direct avec les eaux usées traitées. Pour cette modalité, l'OMS préconise un objectif de réduction correspondant à deux situations :

- Réduction de 4 U. Log pour une agriculture intensive en travail manuel, et
- Réduction de 3 U. Log pour une irrigation hautement mécanisée.

Pour E. Coli, et compte tenu d'une concentration dans les effluents bruts de 10^7 à 10^8 /100ml, ceci conduit à viser respectivement pour les deux situations 10^3 - 10^4 et 10^5 – 10^6 /100ml.

Pour les œufs d'helminthes, la recommandation est la même que pour l'irrigation non restrictive, car la population prioritairement exposée est identique.

Ainsi, l'OMS préconise cinq situations pouvant servir de référence (en plus des situations spécifiques à l'irrigation restrictive) qui sont reprises par la figure 6.

■ Irrigation non restrictive

Situation A	Situation B	Situation C	Situation D	Situation E
• Adaptée aux légumes - racine, • Abattement des pathogènes de 7 log obtenu par la combinaison traitement (4 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre	• Adaptée aux légumes-feuille, • Abattement des pathogènes de 6 log obtenu par la combinaison traitement (3 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre	• Adaptée aux cultures hautes et production aérienne, sans ramassage à terre de produits, • Abattement de 6 log, obtenu par la combinaison traitement (2 log) + irrigation goutte à goutte.	• Adaptée aux cultures basses et production aérienne, sans ramassage à terre de produits • Abattement de 6 log, obtenu par la combinaison traitement (4 log) + irrigation goutte à goutte.	• Adapté à toutes cultures, • Abattement de 7 log obtenu uniquement par traitement

■ Irrigation restrictive

Situation F	Situation G	Situation D
• Agriculture intensive en travail manuel, • Abattement de 4 log par traitement, 3 log étant assurés par la restriction des cultures	• Agriculture hautement mécanisée, • Abattement de 3 log par traitement, 4 log étant assurés par la restriction des cultures.	• Assainissement autonome ou situation similaire, • Traitement par fosse septique (1 log) suivi d'un épandage souterrain (6 log).

Le tableau 19 résume les recommandations et directives de l'OMS (2006).

Tableau 19. Recommandations de l'OMS pour la REUT (OMS, 2006)

Scénario d'exposition	Cible sanitaire (en DALY/an/hab)	Qualité de l'eau E.Coli/ 100ml d'eaux usées ou 100 g du sol)	Nombre d'œufs d'helminthe/litre
Irrigation non restrictive ???			
Laitue	$\leq 10^{-6}$	$10^3 - 10^4$	≤ 1
Oignon	$\leq 10^{-6}$	$10^3 - 10^4$	≤ 1
Irrigation restrictive			
Agriculture très mécanisée	$\leq 10^{-6}$	10^5	≤ 1
Agriculture intense en main d'œuvre	$\leq 10^{-6}$	$10^3 - 10^4$	≤ 1
Irrigation goutte à goutte			
Culture hautes	$\leq 10^{-6}$	10^5	Pas de recommandations
Cultures basses	$\leq 10^{-6}$	10^5	≤ 1

L'OMS recommande de s'appuyer sur le dénombrement d'indicateurs de contamination fécale tels que : E. Coli, dans l'effluent traité. Les valeurs seuils en fonction du traitement, du niveau de restriction, et des types de cultures sont rapportées dans le tableau 20.

Tableau 20. Valeurs - seuils de vérification de la concentration en E. Coli en fonction du type d'irrigation et des types de cultures traitement requis (OMS, 2006)

Type d'irrigation	Option	Réduction des pathogènes par traitement (Unité log)	Valeur-seuil (E. coli/100ml) E. Coli /100ml	Commentaires
Sans restriction	A	4	$\leq 10^3$	Légumes racine
	B	3	$\leq 10^4$	Légumes feuille
	C	2	$\leq 10^5$	Goutte à goutte cultures hautes
	D	4	$\leq 10^3$	Goutte à goutte cultures basses
	E	6 – 7	≤ 1 à 10	Traitement
Avec restriction	F	4	$\leq 10^4$	Agriculture manuelle
	G	3	$\leq 10^5$	Agriculture

				mécanisée
	H	0,5	≤ 106	Fosse sceptique

Pour le cas des œufs d'helminthes, les valeurs seuils sont rapportées dans le tableau 21.

Tableau 21. Œufs d'helminthes (OMS, 2006)

Mesure	Concentration initiale nb/l	Réduction requise Unité log	Valeur seuil nb/l	Notes
Traitement	1000	3	≤ 1	Traitement à dimensionner en fonction de la concentration dans l'effluent brut
	100	2	≤ 1	
	10	1	≤ 1	
	≤ 1	0	Sans objet	
Traitement + lavage des produits	1000	2	≤ 1	Traitement + lavage (solution désinfectante + eau claire)
	100	1	≤ 1	
	10	0	Sans objet	Le lavage suffit
	≤ 1	0	Sans objet	

Mesures de protection et bonnes pratiques de réduction des risques (préconisées par l'OMS, 2006)

En plus des modalités présentées ci-dessus qui correspondent à des valeurs seuils ou valeurs – guides pour différentes situations (type de culture, niveau de traitement, irrigation respective ou non restrictive, etc.), d'autres mesures ou bonnes pratiques agricoles permettent de réduire significativement le risque et garantir une sécurisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Le suivi de ces mesures peut être semi-quantitatif ou qualitatif et se fera moyennant des critères d'appréciation ou de procédures de certification et de traçabilité (check-lists, cahier et fiches de suivi – cultures, parcellaire, lavage des produits, etc.). Ces indicateurs sont complétés par les deux tableaux 21 et 22 présentant respectivement les niveaux de réduction des pathogènes (bactéries, virus, protozoaires) et des œufs d'helminthes, susceptibles d'être atteints par les diverses mesures de protection.

Tableau 22. Pathogènes (bactéries, virus, protozoaires)

Mesure	Réduction des pathogènes Unité log	Notes/Commentaires
Traitement des EU	1 – 6	A ajuster en fonction de la combinaison des autres mesures de protection sanitaire.
Irrigation localisée (goutte à goutte)	2	Légumes racine et légumes feuille en contact partiel avec le sol (laitues...).
	4	Légumes tels que la tomate, tels que les parties récoltées ne sont pas en contact avec le sol.
Aspersion avec maîtrise de la dérive des aérosols	1	Micro-sprinklers, sprinklers à secteur dirigés vers l'intérieur des parcelles ou pilotés par anémomètres...
Aspersion avec zone tampon	1	La largeur de la zone tampon doit être de 50 à 100 m.
Décroissance spontanée du nombre de pathogènes	0,5 à 2 /j	Décroissance du nombre de pathogènes observée à la surface des cultures entre la dernière irrigation et la consommation. L'efficacité dépend du climat (température, ensoleillement, humidité), de la durée, du type de culture etc....
Lavage à l'eau	1	Lavage des salades, fruits et légumes à l'eau propre.
Lavage avec une solution désinfectante	2	Lavage des salades, fruits et légumes avec une solution désinfectante faiblement dosée, et rinçage à l'eau propre.
Pelage	2	Pelage des fruits, légumes racine
Cuisson	6	L'immersion des produits dans une eau bouillante ou proche de l'ébullition, jusqu'à cuisson, assure la destruction des pathogènes.

Quelques conditionnalités d'application de l'approche OMS-multi-barrières

Il est important de souligner que d'autres mesures sont nécessaires pour rendre cette approche concrète et opérationnelle. En effet, une lecture transverse des directives de l'OMS – 2006- /Volume 2, on peut déduire quelques les conditionnalités résumées dans le tableau 23.

Tableau 23. Quelques conditionnalités pour l'opérationnalisation des mesures de protection

Mesure de protection	Conditionnalités
Traitement / épuration	- Performance épuratoire déclarée demeure constante - Suivi régulier conformément à la réglementation en vigueur - Coût de traitement complémentaire abordable (cet aspect sera développé plus loin)
Choix des cultures / restriction des cultures	- Existence d'un marché pour les cultures choisies pour une irrigation restrictive (autrement, le respect de l'interdiction d'autres cultures / irrigation non restrictive sera difficile. D'où l'importance de l'analyse préalable de la faisabilité des différents scénarii de traitement – réutilisation. - Système de traçabilité (fiche – cultures, parcellaire, etc.) - Suivi & contrôle
Système d'irrigation	- Adaptation du système d'irrigation aux cultures pratiquées et à la qualité des eaux traitées (cet aspect est étayé dans le volet technique du manuel) - Suivi & Contrôle
Exposition humaine	- Système de prévention et de contrôle - Inspection (par l'ONSSA et les services d'hygiène) - Mesures prophylactiques (vaccinations, administration d'anthelminthiques)

Directives du PNUE (2005)

Avant les directives de l'OMS révisées de 2006, le PNUE a préconisé en 2005, des lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées traitées en région méditerranéenne. Ces directives concernent quatre catégories de réutilisation (tableau 22).

Ces directrices ont été initialement formulées par Bahri et Brissaud (2002) dans le cadre d'un projet financé par le PNUE / OMS et ont été présentées à diverses réunions. Les éléments ayant motivé l'élaboration de ces directives sont : (i) le marché agricole méditerranéen est en développement avec la promotion de filières de fruits, légumes et arboricoles dont certaines sont orientées vers l'export, (ii) le tourisme est un secteur d'activités important dans la région, (iii) la préoccupation croissante des consommateurs quant à la qualité alimentaire et risques pour la santé.

Tableau 22. Directives recommandées par le PNUE (2005) pour la région méditerranéenne

Catégorie	Œufs d'Helminthes/L ^a	CF/100ml ^b	MES (mg/L)	Traitement recommandé
I	≤0.1	≤200	≤10	Secondaire + Filtration + Désinfection
II	≤0.1	≤10 ⁻³	≤20, ≤150 ^c	Secondaire + Filtration + Désinfection ou Secondaire + stockage en bassin de maturation/ infiltration
III	≤1	≤10 ⁻⁵	≤35, ≤150 ^c	Secondaire + quelques jours de stockage ou bassin d'oxydation aérobie
IV	Sans	Sans	Selon exigence du système d'irrigation	Minimum d'un traitement primaire

a: suivi non exigé, b: suivi hebdomadaire et au moins mensuel, c: si traitement avec les bassins de stabilisation

Catégorie I: Réutilisation à des fins municipales et résidentielles

Catégorie II: Irrigation sans restriction et la réutilisation industrielle

Catégorie III: Irrigation agricole restrictive

Catégorie IV: Irrigation au goutte à goutte ou par irrigation souterraine

III.3.5. Cadence et rythme de suivi des paramètres de qualité

Le suivi et le contrôle est une composante indispensable pour garantir la durabilité et la sécurisation des projets de réutilisation des eaux usées traitées. **Ce suivi est généralement de nature réglementaire et permet d'examiner la conformité des analyses pour chaque niveau de traitement et pour chaque type d'usage.** Un protocole de suivi est donc nécessaire à mettre en place.

Le suivi devra concerner :

- Les effluents destinés à la réutilisation (à la sortie de la STEP et du bassin de stockage),
- Les sols,
- Les eaux de surface et souterraines à l'aval du périmètre de réutilisation, et
- Les produits agricoles

L'examen des références internationales a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La liste des paramètres objets de suivi est variable selon les réglementations,
- La fréquence de suivi est aussi variable en fonction des paramètres (ce qui est logique) mais elle est aussi variable d'un pays à l'autre,
- La fréquence est aussi variable en fonction du point de contrôle (sortie de la STEP, sortie des bassins de stockage inter-saisonnier etc.)

Globalement, on peut déduire que les fréquences les plus élevées (1 à 2 fois par semaine) correspondent aux paramètres biologiques, suivis des paramètres usuels (DBO, DCO, MES, NTK, etc.). Les composés toxiques et métaux lourds sont analysés à une fréquence moindre qui varie du

mois à une année.

La tendance générale de monitoring ne se limite pas uniquement aux paramètres de qualité chiffrés mais aussi aux pratiques et mesures de réduction de risque (bonnes pratiques) qui accompagneront la norme.

Il est à signaler à ce sujet, que les directives de l'OMS en la matière sont loin des programmes d'échantillonnage et des fréquences de prélèvements adoptés par les réglementations de plusieurs pays développés ou en voie de développement durant le siècle dernier.

Le tableau 24 présente le système de suivi minimum proposé par l'OMS pour quelques mesures de protection.

Tableau 24. Système de surveillance et de contrôle minimum (OMS, 2006)²⁸

Mesures de protection sanitaire	Fréquence minimale de vérification
Traitement des eaux usées (Station)	Milieu urbain ou suburbain : un échantillon tous les 15 jours pour analyser l'E. coli et un échantillon par mois pour analyser les œufs d'helminthe. Milieu rural : un échantillon tous les 3 à 6 mois pour analyser les œufs d'helminthe ⁽¹⁾
Irrigation localisée (goutte à goutte)	Enquêtes annuelles pour vérifier les méthodes d'irrigation utilisée et le type de cultures
Cessation d'irrigation avant récolte	Enquêtes annuelles locales pour vérifier la qualité microbiologique des eaux usées et la qualité des cultures au niveau des parcelles irriguées et au niveau de points de vente choisis.
Lavage, désinfection des produits, pelage et cuisson des produits	Enquêtes annuelles locales pour vérifier ces pratiques au niveau des foyers et établi l'impact des programmes d'éducation à l'hygiène alimentaire
Restriction des cultures	Enquêtes sur les types de cultures réellement irriguées par les agriculteurs
Chimiothérapie et vaccination	Enquête annuelles pour déterminer le nombre de population vaccinée et l'efficacité de la vaccination
Port des vêtements de protection	Inspection des conditions de travail dans les parcelles irriguées
Lutte contre les vecteurs	Inspection visuelle de la croissance de la végétation non désirée dans les canaux d'eau usées et quantification des larves d'insectes par pêche larvaire dans les eaux usées.

(1) L'analyse des œufs d'helminthe nécessite un volume de 5 litres constitué d'échantillons composites obtenus à partir de 6 prélèvements effectués durant la journée.

III.5. REVUE DES DIRECTIVES SPECIFIQUES A L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS

L'encadré suivant relate une revue de quelques références internationales en matière de directives adoptées pour la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation des espaces verts.

Lignes directrices pour la réutilisation pour les pays méditerranéens

²⁸ OMS (2006). Volume 2 des Directives de l'OMS pour la réutilisation sécuritaire des eaux usées – 2006

Le programme MED POL/OMS (2004 - 2005) a élaboré des lignes directrices ou guidelines pour la réutilisation des eaux usées épurées en régions méditerranéennes. Parmi les cinq catégories préconisées par ces lignes directrices, les usages urbains relèvent deux catégories dont les spécifications en termes de qualité sont définies :

Catégorie 1 : Œufs de nématodes ≤ 0.1 /litre, CF ≤ 200 / 100 ml et MES ≤ 10 mg/l.

- Irrigation des jardins privés
- Les usages urbains : irrigation des espaces à accès libre : parcs, terrains de sports, ceintures vertes, terrains de sport, terrains de golf), nettoyage de voirie, lutte contre les incendies

Catégorie 3 : Œufs de nématodes ≤ 0.1 /litre, MES ≤ 35 mg/l.

- Pépinières forestières et ornementales
- Les espaces verts non accessibles au public

Norme Cyprienne

Cette norme préconise un traitement tertiaire avec désinfection et stipule une absence de nématodes intestinaux (zéro Œufs/litre) et moins de 50 CF (CFU/100 ml) dans au moins 80% d'échantillons analysés par mois. Cette norme interdit l'irrigation des plantes ornementales à des fins commerciales.

Norme de l'OMS

Cette norme prévoit moins de 1 œuf d'helminthe intestinal par litre et moins de 1.000 coliformes thermo-tolérants par 100 ml). Signalons toutefois que cette norme est focalisée essentiellement, même dans l'édition révisée en 2006, sur la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.

Normes de l'US-EPA

L'US – EPA (1992) a publié des recommandations concernant tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées dans un ouvrage intitulé "*Guidelines for Water Reuse*".

A l'instar des guidelines concernant la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture, un certain nombre d'états dont la Californie, la Floride, le Texas et l'État de Washington ont les normes les plus sévères. En effet, les normes californiennes distinguent trois catégories d'usage et définit pour chacune d'elles les conditions de traitement préalable et de qualité microbiologique :

- Catégorie 1 : Les espaces accessibles au public : parcs, terrains de jeux, jardins des écoles, parcours de golfs avec résidences
- Catégorie 2 : Les espaces à accès restrictif : certains terrains de golfs, cimetières, les espaces verts des autoroutes
- Catégorie 3 : Les pépinières de plantes ornementales à usage non commercial

Globalement, cette norme prévoit de manière systématique un traitement avancé avec désinfection et une qualité microbiologique plus stricte en passant de la catégorie 1 à la catégorie 3. En effet, elle préconise une absence de coliformes pour la catégorie 1 et moins de 2.2 à maximum 23 coliformes fécaux / 100 ml pour les deux autres catégories 2 et 3.

Projet d'arrêté français

Ce projet fixe les valeurs limites de la qualité des eaux réutilisées et apporte une modification par rapport aux recommandations en 1991 par le CSHPF (Projet d'arrêté élaboré en 2000 et qui est en cours d'examen pour avis depuis 2006 par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

(AFSSA). Ce projet préconise pour les espaces verts ouverts au public une absence de salmonelles et d'œufs de ténia et une concentration d'E.Coli/100 ml inférieure à 1000.

Norme marocaine

En 2002, le Maroc a promulgué l'Arrêté n° 1276-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation. Cet arrêté stipule pour des terrains de sport et des jardins publics, une absence complète de nématode et une teneur maximale en coliformes fécaux de 1 000 CF (moyenne géométrique) /100 ml.

Standards et normes de la Colombie britannique (1999)

Ces normes considèrent deux catégories d'usage et définit des exigences de qualité pour chacune d'elles :

- Catégorie 1. Espaces à accès non restrictif pour le public : Pour cette catégorie, l'eau épurée devra subir un traitement complémentaire de filtration et désinfection et répondre aux exigences suivantes : $DBO_5 < 10 \text{ mg/l}$; $CF < 2.2 \text{ CF/100 ml}$
- Catégorie 2. Espaces à accès restrictif pour le public : pour cette catégorie, l'eau épurée devra obligatoirement subir une désinfection et répondre aux exigences suivantes : $DBO_5 < 45 \text{ mg/l}$; $MES < 45 \text{ mg/l}$ / $CF < 200 \text{ CF/100 ml}$

IV. EBAUCHE DE PROJET DE REVISION DE LA NORME DE QUALITE DES EAUX DESTINEES A L'IRRIGATION (NM-QUEDI) AU MAROC

*Voir Document « Projet d'un Arrêté » fourni en un
document séparé*