



Séminaire INTERNATIONAL

Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration :

Optimisation, Valorisation & Durabilité

Résumés / Abstracts

TUNIS, 24 – 25 SEPTEMBRE 2003

SOMMAIRE

SESSION PLENIERE

<u>Epuraton et optimisation de la réutilisation des eaux usées en Tunisie : Apport de la coopération.</u> <i>D. Xanthoulis et N. Fonder.....</i>	5
<u>Irrigation avec les eaux usées traitées : manuel d'utilisation.</u> <i>M. Bazza, D. Xanthoulis.....</i>	7

COMMUNICATIONS ORALES

SESSION 1 : OPTIMISATION ET DURABILITE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES

<u>Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture au Maroc : Bilan de plusieurs années de recherche</u> <i>J. Bahij et B. Soudi.....</i>	11
<u>Efficiency and bilan de l'azote apporté par l'engrais et par les eaux usées traitées</u> <i>M.N. Khelil, S. Rejeb, J.P. Destain, M. Frankinet ,D. Xanthoulis et B. Henchi.....</i>	13
<u>Optimisation de la fertilisation azotée de cultures légumières sous irrigation avec des eaux usées</u> <i>D. Xanthoulis et N. Fonder.....</i>	15
<u>Optimisation de l'irrigation localisée avec les eaux usées traitées</u> <i>F. Chenini, Y.Pénadille, D. Xanthoulis et K. Zayani.....</i>	17
<u>Contamination bactérienne résiduelle des cultures irriguées par des effluents de qualité différentes et selon différents systèmes d'irrigation</u> <i>M. Trad, F. Chenini et D. Xanthoulis.....</i>	18
<u>La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture : Les réponses des agriculteurs du périmètre de Cebbala et Henchir Tobias</u> <i>M. Hammami M. Elloumi et S. Selmi.....</i>	19
<u>Use of treated wastewater in irrigated agriculture in the north of Tunisia (Nabeul) : A study of the farmer's acceptance and perception</u> <i>F. Chenini, H. Jelassi et F. Huibers.....</i>	21

SESSION 2 : CARACTERISATION ET TRAITEMENT DES EAUX USEES

<u>Qualité bactériologique de quelques effluents urbains traités et rejeté dans l'environnement</u> <i>I. Boukef, M. Trad, H. Makni, M. Elbour et A. Boudabbous.....</i>	23
<u>Etude comparative des interrelations entre bactéries et microalgues au cours de l'épuration des eaux usées par lagunage naturel et Chenal Algal à Haut Rendement</u> <i>H.Allaya, M.EL Bour, H.Ben Ouada et A.El Abed.....</i>	24
<u>Amélioration de la qualité d'un effluent secondaire destiné à l'irrigation par filtration sur sable</u> <i>R. Boukchina, H. Makni, S. Abdedaïem et F. Brissaud.....</i>	25
<u>Photo altération des formes de résistance des parasites des eaux usées par différents procédés expérimentaux</u> <i>Z. Alouini, M. Jemli et S. Sabbahi.....</i>	26

SESSION 3 : VALORISATION DES SOUS-PRODUITS

Traitement et valorisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration : Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient

B. Soudi et M. Bazza.....29

Caractérisation physico - chimique et microbiologique des boues urbaines en vue d'une valorisation agricole : Cas de la station de Chostrana

A. Rhouma, K. Gargouri, S. Nefzi et H. Bousnina.....31

Caractérisation physico - chimique et microbiologique des boues Traitement anaérobie des boues et valorisation du biogaz

M. Wauthélet.....32

Wastewater recycling of olive mills in Mediterranean countries :

Demonstration and sustainable reuse of residuals

D. Herold, A. Neskakis, D. Xanthoulis.....34

SESSION DE POSTERS

Approche intégrée pour l'amélioration de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture irriguée dans le Cap Bon

F. Huibers, F. Chenini et H. Jelassi.....36

Etude de l'efficacité de la photo désinfection des eaux usées par différents photosensibilisants : Cas de Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli

S. Sabbahi, M. Jemli et Z. alouini.....38

L'épuration : une technique hydroponique pour le traitement et la valorisation durable des eaux usées

M. Trad, D. Xanthoulis.....39

Etude de l'impact des eaux usées traitées sur les caractéristiques physiques des sols

Z. Chaabouni, H. Nahdi, F. Chenini et D. Xanthoulis.....40

Impact de l'irrigation aux eaux usées traitées sur la qualité de l'huile extraite des « Olives N'chira »

M. Gharsallaoui, A. Rhouma et M. Khlif.....41

Evaluation de la toxicité et de la charge en pathogènes dans les eaux usées urbaines avant et après traitement par des procédés conventionnels et membranaires.

M. Ellouze, A. Saddoud, A. Dhouib et S. Savadi.....42

Mise au point et validation d'une méthode de minéralisation des boues des stations d'épuration en vue de l'analyse du mercure et de l'arsenic

S. Cherif, H. Naouali et A. Jrad.....43

Nouvelle approche pour déterminer le volume du bulbe humidifié par un goutteur à la surface du sol

M. Hammami et M. Maalej.....44

Utilisation des eaux usées traitées dans les zones arides : Aspects socio-économiques

Y. Moumni.....45

La nutrition minérale chez l'olivier Chemlali irrigué avec les eaux usées traitées

S. Bedbabis, B. Ben Rouina et M. Boukhris.....46

L'utilisation des eaux usées traitées dans les périmètres publics irrigués en Tunisie

<u><i>M. Barbouche</i></u>	47
<u>Evaluation de l'exploitation des périmètres irrigués à partir des eaux usées traitées</u> <i>R. Al Atiri, N. Gharbi et S. Dkhil</i>	49
<u>L'utilisation des sables et argiles naturelles dans le traitement tertiaire des eaux usées traitées dans les périmètres irrigués de la région de Gabès (Sud tunisien)</u> <i>M. Griba</i>	50
<u>Seasonal storage of reclaimed wastewater in Tunisia: a mean of upgrading microbiological quality</u> <i>M. Trad, D. Xanthoulis et N. Gardin</i>	51
<u>Etude in vitro de l'activité biologique de xéno oestrogènes à l'aide de modèles cellulaires bioluminescents des eaux usées des stations d'épuration tunisiennes</u> <i>Mnif Wissem, Guerfali Ibtissem, Pillon Arnaud, Gomez Elena, Balaguer Patrick et Bartegi Aghleb</i>	52
<u>Réutilisation d'une eau résiduaire brute et épurée en agriculture : Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu ,Cd et Cr)</u> <i>S. Fars, K. Bousselhaj, A. Nejmeddine, N. Ouazzani A. Laghmari et A. Bouadili</i>	54
<u>Use of Treated Wastewater for Irrigated Agriculture: Proposals for a Comparative Study of Bolivia, Ghana and Tunisia</u> <i>S. K. Agodzo, F. P. Huibers, F. Chenini, et P. Maldonado</i>	56
<u>Réutilisation des eaux usées riches en colorants</u> <i>A. Souguir, M. Baoueb et A. Bartegi</i>	57
<u>Modifications des propriétés physiques de deux textures de sols sous l'effet des boues résiduaires urbaines</u> <i>I. Ben Jemia, B. Houmène et M. Gueddari</i>	59
<u>Evaluation économique du traitement des eaux usées par épuration: cas de la station de Oued Souhil – Tunisie</u> <i>H. El amami, D. Natsoulis, M. Trad et D. Xanthoulis</i>	60

SESSION PLENIERE

Epuration et optimisation de la réutilisation des eaux usées en Tunisie : Apport de la coopération.

D. Xanthoulis*et N. Fonder*

**Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*

Email : xanthoulis.d@fsagx.ac.be

Résumé – L'épuration et l'optimisation de la réutilisation des eaux usées en Tunisie a bénéficié d'un apport international important notamment de la Belgique et de l'Union Européenne. Le présent article présente les différents projets et présente plus particulièrement les objectifs et les résultats du projet INCO intitulé 'sustainability and optimisation of treatments and use of wastewater in agriculture in Mediterranean region'.

Pour ce projet, les deux axes de recherche sont le traitement des eaux usées pour l'obtention d'un effluent réutilisable pour une irrigation sans risque pour la santé humaine et l'environnement, et l'affinement des techniques d'irrigation compatibles avec des pratiques agricoles durables.

Trois systèmes ont été testés: le traitement des eaux usées par 'wetland' à surface libre (FWS), le stockage de longue durée (LTS) et l'épuvalisation.

Les techniques d'irrigation étudiées, via l'impact de l'utilisation d'eaux usées sur les systèmes d'irrigation ont démontré que les systèmes par goutteurs intégrés donnent les meilleurs rendements culturaux ainsi que la meilleure uniformité d'irrigation.

Les effets de l'irrigation par des eaux usées sur le complexe sol/plante démontrent dans le cas d'une culture de pomme de terre en Tunisie, que quelque soit la technique d'irrigation utilisée, sous un même programme de fertilisation, les eaux usées traitées apportent des rendements toujours supérieurs à ceux obtenus par irrigation à l'eau de nappe.

Au Maroc, dans le cas de cultures d'aubergine et de géranium, les eaux usées épurées par épuvalisation ont une charge fertilisante telle qu'un effet dépressif sur le nombre de fruits produits a été observé ainsi qu'une moindre consommation hydrique de la culture. Ces eaux et des eaux usées épurées par infiltration-percolation sont classées d'un point de vue microbiologique dans la classe A telle que définie par l'OMS, c'est à dire permettant une utilisation non restrictive pour l'irrigation de cultures consommées crues.

En Israël, sous une culture de maïs, la teneur en nitrates s'accumule dans le sol lorsqu'il n'y a pas d'irrigation, alors que inversement, le sodium s'accumule lorsqu'il y a irrigation.

En Palestine, la recherche de plantes adaptées à l'irrigation par des eaux usées a permis d'identifier une variété de pois qui ne subit pas de perte

et dont les paramètres de biomasse, rendement en grains et qualité de formation des grains sont améliorés lors d'irrigation par des eaux usées.

Dans la plus part des cas, l'irrigation au goutte à goutte en surface ou souterraine ont donné des résultats similaires, seule une meilleure réduction de la contamination microbiologique est observée pour le goutte à goutte souterrain.

L'irrigation complémentaire par eaux usées pour la culture céréalière au Maroc montre que dans le cas de la culture de blé dur, les rendements sous irrigation par eaux usées épurées par infiltration-percolation sont statistiquement meilleurs que sous irrigation par eau de puits. Pour la culture de blé tendre, les rendements sont liés à la quantité d'éléments fertilisants apportés plutôt qu'à la nutrition hydrique.

L'optimisation de la fertilisation azotée montre qu'en Belgique, sous irrigation par les eaux usées, lorsque la dose azotée recommandée est dépassée, un supplément minime de rendement est observé mais les reliquats azotés restés dans le sol après culture sont intolérables d'un point de vue environnemental. Sous la dose optimale recommandée une meilleure utilisation de l'azote par les plantes est constatée et la quantité de résidus azotés après culture n'engendre pas de pollution du sol.

Optimisation / réutilisation des eaux usées traitées / traitement / valorisation / irrigation.

Irrigation avec les eaux usées traitées : manuel d'utilisation.

M. Bazza*et D. Xanthoulis**

* *FAO (RNE), 11 El eslah el zerai Street Dokki, P.O Box 2223 Cairo Egypt*

** *Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*

Email : mohamed.bazza@fao.org

Résumé - La FAO a déployé beaucoup d'efforts sur le sujet de la réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits en agriculture au cours des trente dernières années, notamment à travers l'appui technique aux pays membres, l'organisation d'un grand nombre de manifestations, la mise en œuvre de projets, la formation, la production de documentation, etc. La collaboration avec les pays membres et les autres organisations a permis de faire avancer le processus, mais il reste encore beaucoup à faire pour parvenir à une adéquation entre la pratique et le potentiel offert par la technologie.

Dans le prolongement de ces efforts, le bureau régional pour le Proche-orient de la FAO, un premier article sur la mise à jour du manuel d'utilisation des eaux usées traitées sur la base des nouveaux développements scientifiques et technologiques.

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

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

Les principaux chapitres traitent de(s):

- l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée pour l'irrigation
- l'irrigation avec l'eau usée traitée
- aspects sanitaires de la réutilisation des eaux usées en agriculture
- aspects environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées
- mesures de contrôle
- aspects socioculturels, légaux, institutionnels et économiques
- boues résiduaires

Manuel / eaux usées traitées / traitement / valorisation / bonnes pratiques agricoles.

COMMUNICATIONS ORALES

SESSION 1 :

OPTIMISATION ET DURABILITE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES

SESSION 2 :

CARACTERISATION ET TRAITEMENT DES EAUX USEES

SESSION 3

VALORISATION DES SOUS-PRODUITS

SESSION 1 :

OPTIMISATION ET DURABILITE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES

Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture au Maroc : Bilan de plusieurs années de recherche

J. Bahij* et B. Soudi**

**Direction Contrôle Qualité des Eaux, Office National de l'Eau Potable, Rabat, Maroc*

***l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rbat, Maroc.
Email : onepdlq@onep.ma*

Résumé - Le Maroc, pays à climat aride à semi aride se trouve vulnérable aux périodes de sécheresse cycliques et prolongée et connaît une inégale répartition des ressources hydriques à travers son territoire. Les ressources hydriques utilisables sont estimées à environ 30 Milliards de m³. Environ 13 Milliards de m³ d'eau sont effectivement mobilisées et 93% de ces eaux servent pour l'irrigation de 1,2 Millions d'hectares des terrains agricoles. Avec l'augmentation croissante de la population et le développement économique, le Maroc se trouve actuellement à la limite du stress hydrique.

Ainsi la réutilisation des eaux usées épurées à divers usages et particulièrement en irrigation est une pratique qui prend de plus en plus de l'importance au Maroc. Les volumes des eaux usées produits annuellement en milieu urbain sont estimés actuellement à 500 Mm³ dont seulement 8% sont épurées. De ce fait, ces eaux usées peuvent être considérées comme une ressource hydrique précieuse dont la réutilisation pour l'irrigation est étudiée comme un moyen d'éviter le gaspillage d'une ressource qui se raréfie. D'autre part, dans les régions continentales, qui en particulier souffrent le plus des déficits hydriques, les eaux usées sont réutilisées brute pour l'irrigation d'environ 7000 hectares des terres agricoles et représentent ainsi pour cette population une ressource hydrique pérenne pour leur agriculture locale avec tous les risques sanitaires et environnementales qui peuvent en découler.

Dans ce contexte plusieurs expérimentations sont menées dans différentes régions du Maroc pour promouvoir une réutilisation rationnelle et maîtrisée des eaux usées épurées particulièrement pour l'irrigation : Marrakech, Ouarzazate, Agadir et Ben Slimane.

Les différentes expérimentations menées ont été réalisées sur des systèmes d'épuration extensifs qui s'adaptent le mieux à notre contexte socio-économique et ont montré que la qualité des effluents épurés était conforme aux Directives de l'OMS en matière de réutilisation à des fins d'irrigation et que les produits obtenus étaient généralement de bonne qualité. Des campagnes de sensibilisation des usagers de l'eau réutilisées ont également accompagné les projets pilotes de réutilisation des eaux.

Sur le plan institutionnel et législatif, les plus importantes actions entreprises sont l'adoption depuis 1995 de la loi sur l'eau et l'élaboration en 2002 des normes relatives à la réutilisation des eaux usées épurées. Toutefois, les contraintes qui se posent sont surtout le manque d'un schéma organisationnel et de gestion clair, l'insuffisance dans le respect des textes législatifs et dans la coordination entre les différents intervenants dans le domaine et les faiblesses des capacités financières des communes.

Les perspectives les plus importantes restent la réalisation et la généralisation des projets intégrés d'épuration et de réutilisation à grande échelle et à l'échelle nationale avec la mise en place des mesures d'accompagnement garantissant la pérennisation du fonctionnement des installations et la viabilisation des projets.

Eaux usées / traitement / recyclage des eaux usées / Maroc / valorisation / agricole.

Efficienc e et bilan de l'azote apporté par l'engrais et par les eaux usées traitées

M.N. Khelil*, **S. Rejeb****, **J.P. Destain*****, **M. Frankinet*****,
D. Xanthoulis**** et **B. Henchi***

**Faculté des Sciences de Tunis, Tunis*

*** INRGREF, BP 10 Rue Hédi Karray 2080 Ariana*

****Centre de Recherche Agronomiques, Belgique*

***** Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*

Email : saloua.rejeb@iresa.agrinet.tn

Résumé - Etant donnée l'aridité du climat et la rareté des ressources hydriques, la réutilisation des eaux usées traitées revête une importance considérable en Tunisie et fait partie intégrante de la stratégie nationale de la gestion de l'eau. L'irrigation reste le secteur le plus approprié. L'utilisation agricole de ces eaux connaît actuellement un grand essor. Toutefois, elle reste sujette à plusieurs contraintes agronomiques, environnementales et sanitaires. Parmi les plus rencontrées, la gestion de la fertilisation azotée se pose d'une manière délicate d'autant plus que ces eaux usées sont chargées en azote. Il s'agit tout d'abord de gérer au mieux l'apport d'azote et de minimiser les risques éventuels d'une charge résiduelle importante susceptible de migrer en profondeur et contaminer la nappe et les eaux de surface.

Pour répondre à ces préoccupations, nous avons entrepris une expérimentation en plein champ sur une succession de cultures irriguées avec une eau de nappe et une eau usée traitée et recevant approximativement la même dose totale d'azote apportée. A coté de ces essais, des expérimentations où l'engrais azoté et l'azote de l'eau ont été simultanément marqués avec l'isotope ^{15}N ont été effectuées.

Sans recourir au marquage isotopique, on ne peut évaluer l'effet de l'engrais sur les cultures dans le cas d'une irrigation avec les eaux usées. Face aux apports d'azote par les eaux usées traitées, les exportations sont faibles et la charge résiduelle est importante. L'efficience agronomique se situe globalement en moyenne à 20 kg MS, kgN et décroît avec la dose totale de N appliquée. En moyenne, l'azote total apporté est apparemment utilisé à raison de 30% par l'ensemble des cultures et décroît également avec la dose totale de N. Ces paramètres s'avèrent très influencés par l'espèce et la meilleure efficience observée était pour le sorgho.

Dans les essais avec l'isotope ^{15}N , alors qu'il n'y a que deux sources de N (N_{sol} et N_{engrais}) disponible pour la plante, la contribution de l'engrais est importante (48 à 71%) et s'accroît avec la dose. Par contre, la contribution du sol décroît et se stabilise à 35% pour des doses élevées de N. Dans le cas

de l'eau usée sans apport d'engrais, l'azote de l'eau entre en compétition avec la fourniture par le sol ; dans ce cas, la contribution de l'eau est de 43% et celle du sol est de 57% ce qui apparaît plus élevée que dans le cas d'une eau non chargée en N. Une fois l'eau usée est complétée par l'engrais minéral, la contribution conjointe de l'engrais et de l'eau se rapproche de celle de l'engrais seul dans le cas d'une eau non chargée en azote.

En première approche on pourrait conclure que la nature de l'azote apporté ($N_{\text{eau}} - N_{\text{engrais}}$) n'a que peu d'influence sur son coefficient d'utilisation. Cependant, à la suite de l'emploi de l'isotope ^{15}N , il est apparu qu'à même dose de N appliquée, le coefficient réel d'utilisation de l'azote présent dans l'eau usée traitée est en général plus faible que celui de l'engrais minéral et cela pour le sorgho (31 vs 49%). Pourtant, l'exportation de N s'avère sensiblement équivalente, de même que le coefficient apparent d'utilisation de N. On peut donc suspecter que l'azote apporté par l'eau usée et fractionné en doses modérées tout au long du stade végétatif, est plus exposé à l'immobilisation ou à la réorganisation qu'un apport ponctuel sous forme d'engrais. Une substitution de pool (N non marqué libéré – N marqué réorganisé par la microflore du sol) serait donc responsable d'un coefficient réel d'utilisation plus bas de l'azote de l'eau.

Eaux usées traitées / efficience / bilan / azote 15 / engrais.

Optimisation de la fertilisation azotée de cultures légumières sous irrigation avec des eaux usées

D. Xanthoulis et N. Fonder

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux Belgique

Email : xanthoulis.d@fsagx.ac.be

Résumé - Les expérimentations menées durant quatre années sur trois cultures consécutives avaient pour objectifs d'optimiser la fertilisation azotée lors d'irrigation avec des eaux usées d'une part et d'autre part, de déterminer l'impact de l'irrigation sur la structure du sol. Ces deux essais ont été menés conjointement, sur un même site, en collaboration avec plusieurs partenaires de recherche. Le site expérimental était localisé dans le périmètre irrigué développé autour de l'usine de production de légumes surgelés, Hesbaye Frost. Les eaux utilisées pour le lavage, le blanchiment et l'épluchage des légumes sont déversées à la sortie de l'usine dans un bassin de stockage aéré (110 000m³), dont la fonction est de temporiser la production de l'usine avec les besoins en eau des cultures exploitées par les agriculteurs avoisinant et de tamponner le pH de ces eaux. L'aération alternée évitant la sédimentation et donc un curage régulier du bassin, ainsi que la fermentation, susceptibles de dégager des odeurs. Lorsque les cultures légumières développées dans le périmètre manifestent un besoin en eau, les eaux usées sont pompées du bassin de stockage et envoyées sous pression dans le réseau de canalisations souterraines. Les fermiers branchent alors les enrouleurs à l'un des 160 hydrants le plus proche du bord de leur champ et l'irrigation par canon asperseur sprinkler peut débuter. Dépendant de la rotation effectuée par le fermier, dont une partie du champ était sous expérimentation, trois cultures légumières ont été testées (haricots, carottes et fèves).

Le premier essai a étudié l'influence sur les rendements et les reliquats azotés dans le sol après culture de trois fertilisations azotée différentes par rapport à un témoin ne recevant pas d'azote minéral complémentaire et un apport ou non d'eaux usées par irrigation. Pour les trois cultures légumières de haricots, carottes et fèves qui ont pu être irriguées, les rendements ont toujours été statistiquement supérieurs lorsqu'il y avait un apport d'eau complémentaire par irrigation avec les eaux usées. Les cultures de carottes et de fèves n'ont pas donné des rendements significativement différents selon le facteur fumure. Les reliquats azotés dans le sol après récolte ont respecté la norme européenne de 50KgN, ha tant que la fertilisation recommandée n'était pas dépassée ; la fertilisation maximale testée, outre-passant les conseils de fumure raisonnée, a systématiquement laissé des reliquats en azote minéral dans le sol en quantité nuisible pour l'environnement mais récupérables par une culture

intercalaire de piège à nitrates (CIPAN). Quelque soit le niveau de fertilisation, les reliquats azotés étaient supérieurs à la norme pour la culture de fèves par un phénomène de minéralisation en surface, dus aux conditions climatiques et à la charge en azote minéral apporté par les eaux usées utilisées pour l'irrigation. Les reliquats azotés en conditions de non irrigation sont significativement plus importants que sous irrigation. L'irrigation permet une meilleure solubilisation de l'azote, ce qui facilite son exploitation par la culture en place et réduit les résidus dans le sol après récolte.

Le second essai a testé l'influence de la couverture du sol, de l'irrigation et du type d'eau utilisé pour l'irrigation sur les rendements et la stabilité structurale du sol. L'année 2000 particulièrement pluvieuse et l'enracinement profond des céréales n'ont pas nécessité d'irrigation. L'irrigation a systématiquement donné des rendements plus importants que la non irrigation, pour toutes les cultures légumières. Le fait que le sol soit couvert par la culture ou laissé nu, l'irrigation ainsi que le type d'eau d'irrigation n'ont eu aucune influence sur la stabilité structurale du sol au terme des cinq cultures.

Irrigation / légumes / eaux usées / pollution nitrique / rendement agronomique.

Optimisation de l'irrigation localisée avec les eaux usées traitées

F. Chenini*, **Y.Pénadille****, **D. Xanthoulis***** et **K. Zayani******

* INRGREF, BP 10 Rue Hédi Karray 2080 Ariana, Tunisie

**Cemagref, BP 31 Le Tholonet, 13612 Aix-en-provence, France

***FUSAGx, 2 allée des déportés, 5030 Gembloux, Belgique

****INAT, 43 Av.charles Nicole 1002 Tunis

Email : chenini.faycel@iresa.agrinet.tn

Résumé - L'utilisation des systèmes d'économie d'eau comme l'irrigation localisée est actuellement une des solutions de sauvegarde des ressources en eau devenues de plus en plus rares. Cette technique utilisée avec les eaux usées traitées, nécessite une maîtrise des différents systèmes de filtration et de pilotage. La durabilité dans le temps de ces installations dépendra essentiellement de l'efficacité des systèmes de filtration. De même pour leurs efficacités, la conduite et le pilotage de l'irrigation restent les facteurs limitants. Ces facteurs sont aussi essentiels pour la préservation de l'environnement en évitant toute infiltration et percolation en profondeur. L'étude de la durabilité et des performances techniques et hydrauliques des distributeurs d'irrigation localisée au laboratoire et aux champs ainsi que l'étude de l'efficacité des différentes techniques d'irrigation localisée avec les eaux usées traitées par comparaison à l'utilisation de l'eau de nappe a été réalisée.

Le protocole consiste à suivre la variabilité dans le temps des coefficients d'uniformité des différentes techniques d'irrigation installées sur plusieurs parcelles. Le pilotage et le contrôle des pertes d'eau en profondeur ont été réalisés par la méthode tensiométrique et TDR (Time Domain Reflectometry).

Les résultats obtenus ont montré qu'il y a une liaison étroite entre l'uniformité et le pilotage de l'irrigation, le système de filtration, et les rendements agronomiques. Ainsi le fonctionnement optimal et durable des installations avec les eaux usées traitées, tout en évitant tout impact négatif sur l'environnement ne peut être assuré que par la maîtrise de la totalité de ces paramètres.

Optimisation / performances / irrigation localisée / distributeurs / système de filtration / uniformité d'arrosage / tensiométrie / TDR.

Contamination bactérienne résiduelle des cultures irriguées par des effluents de qualité différentes et selon différents systèmes d'irrigation

M. Trad*, F. Chenini* et D. Xanthoulis**

**Institut National de Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts, BP.10
2080 Ariana (Tunisie).*

***Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique
Email : rais.moniam@iresa.agrinet.tn*

Résumé - Dans les pays affectés par la rareté des ressources hydriques, l'optimisation de la gestion de l'eau en agriculture constitue généralement une priorité. L'application des techniques d'irrigation localisée est vivement encouragée car elle permet une importante économie d'eau. Lorsque l'irrigation est faite à partir des eaux usées traitées, ces techniques sont susceptibles de jouer un rôle dans la protection sanitaire et environnementale car elles permettent de limiter le contact de ces eaux contaminées avec les humains et avec les différentes composantes de l'environnement agricole.

Des essais d'irrigation ont été entrepris au cours des trois dernières années sur la station de recherche de l'INRGREF à Nabeul. Leur objectif consistait à évaluer la qualité bactériologique de différents produits agricoles irrigués à partir des eaux usées traitées selon différentes techniques (goutte à goutte, micro-aspersion et irrigations à la raie).

L'utilisation d'un système de goutte à goutte pour l'irrigation de la pomme de terre a permis d'obtenir, avec les effluents secondaires, des tubercules présentant sensiblement la même qualité bactériologique que les tubercules produits sur la parcelle témoin irriguée par les eaux de puits selon le même système. Sur la culture de persil, l'utilisation d'un système de goutteurs enterrés a permis d'améliorer la qualité du produit par rapport à celle obtenue avec des irrigations par goutteurs non enterrés ou par micro-aspersion. Ainsi, le goutte à goutte semble constituer le meilleur système qui permet d'optimiser la gestion des eaux d'irrigation tout en limitant les effets négatifs dus à la qualité des eaux usées chargées en sel et en micro-organismes.

Systèmes d'irrigation / eaux usées / contamination bactérienne.

La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture : Les réponses des agriculteurs du périmètre de Cebbala et Henchir Tobias

M. Hammami * M. Elloumi* et S. Selmi*

**INRAT, Rue Hédi Karray 2049 Ariana*

Email : elloumi.mohamed@iresa.agrinet.tn

Résumé - En Tunisie, l'offre en eau devient de plus en plus limitée, face à une demande sans cesse croissante suite à l'intensification et à la diversification des activités économiques et à l'augmentation de la population urbaine en particulier.

C'est pour faire face à cette conjoncture qu'une attention particulière a été accordée à l'économie de l'eau et à l'utilisation de ressources non conventionnelles (dessalement de l'eau, eaux usées traitées, etc...).

C'est dans le cadre de cette politique qu'un ensemble de station de traitement des eaux usées a été mis en place, de même que l'aménagement et l'équipement de plusieurs périmètres irrigués à l'eau usée traitée. Toutefois cette politique volontariste n'a pas rencontré un écho favorable au niveau des agriculteurs et le potentiel mis en place n'est utilisé que dans des proportions assez faibles.

Notre travail a pour objectif de mieux comprendre le comportement des agriculteurs et leur réaction face aux projets d'irrigation par les eaux usées traitées promus par les pouvoirs publics.

Notre choix a porté sur le périmètre de Cebbala-Henchir Tobias, qui est le périmètre le plus important en surface (environ 50% de la surface aménagée), pour sa proximité d'un grand centre urbain (Tunis), pour le caractère très diversifié de son agriculture et pour le rôle que joue l'introduction des eaux usées traitées dans cette dynamique. Par ailleurs, nous disposons pour ce périmètre d'une base de données pour les premières années de mise en service de l'irrigation.

Notre recherche s'est basée sur des enquêtes auprès des agriculteurs, des entretiens avec les responsables locaux et les opérateurs privés. L'analyse de l'information ainsi collectée a fait appel aux concepts de système de production, système exploitation-ménage qui permettent de prendre en considération les stratégies des producteurs et de replacer, dans le fonctionnement du système, l'introduction de l'eau usée comme source d'irrigation.

Les premiers résultats ont permis de mettre en relief l'importance de l'environnement économique et agro-écologique dans l'adoption de l'irrigation par les eaux usées traitées. Ils ont permis de repérer les différentes réactions des agriculteurs face à l'introduction de l'irrigation par les eaux usées traitées dans leurs systèmes de production et de montrer la transformation progressive des systèmes de production avec une progression des cultures fourragères, notamment en réponse aux périodes de sécheresse.

Irrigation / eaux usées traitées / valorisation des eaux usées / enquête socio-économique / comportement des agriculteurs.

Use of treated wastewater in irrigated agriculture in the north of Tunisia (Nabeul) : A study of the farmer's acceptance and perception

F. Chenini*, **H. Jelassi**** et **F. Huibers****

**INRGREF, BP 10 2080 Ariana, Tunisie*

***Wageningen University, Wageningen, the Netherlands*

Email : chenini.faycel@iresa.agrinet.tn

Abstract - In Tunisia, increasing water needs and the danger of periodic drought leave the country vulnerable to water shortage. Growing demand has already led to saline water into some groundwater sources. Conservation, treatment, wastewater use in agriculture and desalinization are remedial and essential options to pursue.

A study was done in the Cap Bon region, in the north of Tunisia, focusing mainly on farmers' acceptance to use tww for irrigation. The sources of water for this area were tww from the treatment plant SE4 and ground water for some farmers who were mixing the two sources of water.

100 farmers in 4 different sectors of the scheme were interviewed and their farms were visited for observation during the irrigation time. An assessment of water quality was made; in the beginning with manual measurement of pH, Electro conductivity and turbidity at the same time with the interviews, then after the interviews, one farmer was chosen to do in his farm the assessment of the water quality each time he irrigate, the analysis consisted on some physical and microbiological parameters.

Farmer's reluctance towards tww use still presents a problematic. The interesting observation made during this research is the lack of information and knowledge of the farmers concerning wastewater.

From the interviews with farmers we found that 79% of farmers says that they are not informed about the water quality and 42% are not informed about how to use tww and most of them mention that they are only informed about the prevention which is consist in making special shoes and doing vaccination.

The key issue here is the emphasis on community information and education programs with demonstration areas for any wastewater use program to make clear both the advantages and disadvantages of wastewater use.

With further research and better strategies devised, the diversification of plantation and introduction of new cultures irrigated with tww in some experimental area with a program of demonstration to the farmers can motivate farmers to use tww. Horticulture or ornamental plants are some examples for promoting wastewater use.

Wastewater / water reuse / irrigation / farmer's acceptance.

SESSION 2 :

CARACTERISATION ET TRAITEMENT DES EAUX USEES

Qualité bactériologique de quelques effluents urbains traités et rejeté dans l'environnement

I. Boukef*, **M. Trad****, **H. Makni*****, **M. Elbour* et A. Boudabbous******

**Institut National des Sciences et Technologie de la Mer.*

***Institut National de Recherches en Génie-Rural, Eaux et Forêts.*

****Ecole National d'Ingénieurs de Sfax.*

*****Faculté des sciences de Tunis.*

Imen.boukef@lycos.com

Résumé - La réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles est en plein développement dans tous les pays confrontés à des problèmes de manque d'eau. En Tunisie, elle a été introduite dès les années 60 et de nombreuses mesures sont actuellement prises pour promouvoir cette pratique qui contribue à la fois au développement du secteur agricole et à la protection du milieu naturel contre la pollution engendrée par les rejets.

La qualité bactériologique des eaux usées traitées (EUT) est une donnée importante dans l'évaluation de l'impact sanitaire et environnemental aussi bien dans le cas d'une réutilisation agricole que dans le cas d'un rejet.

Le présent travail a pour objectif l'étude de la qualité bactériologique des EUT de trois stations d'épuration. Il s'agit des stations de Kâlaat Andalou, Monastir et El Jem utilisant respectivement les procédés de lagunage aéré, lit bactérien et lagunage naturel. L'étude a été menée sur les effluents bruts et traités des trois stations et a comporté un suivi de l'abondance des indicateurs fécaux, des Salmonelles et des Pseudomonas.

Les résultats obtenus montrent que le traitement par lit bactérien est moins efficace dans l'élimination de la pollution bactérienne que le lagunage : L'abattement des différents germes varie de 0,8 à 1,2 unités logarithmiques (U.log) pour la station de Monastir alors qu'il est compris entre 2 et 3 U.log pour les indicateurs fécaux et les Pseudomonas dans le cas des deux autres stations. Cependant les concentrations bactériennes résiduelles restent élevées dans les effluents traités rejetés par les différentes stations étudiées ; Ces concentrations atteignent, pour les coliformes thermotolérants 2×10^5 cfu, 100 ml dans les effluents d'El Jem et $7,7 \times 10^5$ cfu, 100 ml dans les effluents de Kâlaat Andalou. Le rendement épuratoire subit une variation saisonnière ; cette dernière est plus importante dans le cas des stations de traitement par lagunage par rapport au traitement par lit bactérien.

Eaux usées / qualité bactériologique / station d'épuration / lagunage naturel / lit bactériens / lagunage aéré.

Etude comparative des interrelations entre bactéries et microalgues au cours de l'épuration des eaux usées par lagunage naturel et Chenal Algal à Haut Rendement

H.Allaya*, M.EL Bour, H.Ben Ouada* et A.El Abed****

**Lab. De Biotechnologie Marine – INSTM - Monastir*

***Lab. De Microbiologie INSTM – Salammbô*

E-mail : hassen_allaya@yahoo.fr

Résumé - En vue de suivre les associations entre microalgues et bactéries au cours de l'épuration des eaux usées, nous avons étudié les interrelations entre ces microorganismes pour deux systèmes d'épuration des eaux usées : le lagunage naturel et le chenal algal à haut rendement (CAHR).

Ainsi, une campagne de suivi des paramètres biologiques, a été menée dans la station de lagunage naturel (station d'épuration de Sidi Bou Ali) durant 6 mois (entre décembre 2001 et mai 2002). Aussi, un suivi de chenal algal à haut rendement a été mené pendant 26 jours dans une maquette alimentée en eaux usées naturelles.

Les résultats obtenus du suivi de la station d'épuration par lagunage naturel, nous ont permis d'identifier une dominance des micro algues *Chlamydomonas* pendant la période d'étude. Aussi, nous avons retenu des taux printaniers importants en ces microalgues, simultanément à des taux assez élevés en bactéries mésophylles et psychrophylles.

Les résultats obtenus pour le cas du chenal algal à haut rendement, ont permis de constater l'évolution du système vers une réduction des taux en nitrobacters et en sulfato réducteurs ainsi que la DCO, les MES, les nitrates et chlorures au profit d'un développement de microalgues : *Chlamydomonas* et diatomées.

Eaux usées / épuration / lagunage naturel / chenal algal / composition microbiologique.

Amélioration de la qualité d'un effluent secondaire destiné à l'irrigation par filtration sur sable

R. Boukchina*, H. Makni, S. Abdedaïem*** et F. Brissaud******

**Institut des Régions Arides, Direction Régionale de Gabes 6051 Nahal Gabes*

***Laboratoire Eau-Energie-Environnement, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Route de Soukra, BP w 3038 Sfax*

****CRDA de Gabès, Rue Aboukacem El Chebi, 6000 Gabès*

*****Laboratoire HYDROSCIENCES, Université Montpellier II, France*

Email : rachid.boukchina@ira.rnrt.tn

Résumé - Le procédé de traitement des eaux usées par filtration non saturée a été appliqué pour améliorer la qualité d'un effluent secondaire destiné à l'irrigation. Les essais ont été effectués à l'échelle colonne puis à l'échelle d'un bassin expérimental aménagé chez un agriculteur périmètre irrigué de DISSA (Gabès) utilisant les eaux usées en irrigation. Pour une charge hydraulique de 27 cm, appliquée en bâchée unique une fois tout les deux jours, l'abattement moyen des différents paramètres de qualité suivis indique les bonnes performances du procédé étudié dans l'élimination de la pollution résiduelle. Les résultats obtenus durant les trois premiers mois de fonctionnement du pilote révèlent de taux de réduction de la DCO, DBO₅, NTK, N-NH₄ respectivement de 65 %, 98%, 72% et 68%. La qualité bactériologique du filtrat recueilli a été remarquable: l'abattement moyen des coliformes fécaux enregistré a été de 2,8 unités logarithmiques. La qualité bactériologique et parasitologique du filtrat a été aussi remarquable indiquée par l'absence des salmonelles à la sortie du bassin expérimental.

Eaux usées / épuration / filtre à sable / effluent secondaire.

Photo altération des formes de résistance des parasites des eaux usées par différents procédés expérimentaux

Z. Alouini*, M. Jemli* et S. Sabbahi*

* INRGREF, BP 10 Rue Hédi Karray 2080 Ariana

Email : alouini.zou@iresa.agrinet.tn

Résumé - En Tunisie, le problème majeur lié à l'irrigation avec les eaux usées traitées est d'ordre sanitaire. En effet, les œufs et kystes de parasites, de part leur nature constituant une pollution particulière tributaire de l'hydraulicité de l'eau. La perturbation de cette dernière peut engendrer leur entraînement vers la sortie de station, puisque leur traitement ne répond qu'aux lois physiques de sédimentation. Toutes ces considérations confèrent à l'eau usée épurée un potentiel à risque sanitaire d'un point de vue parasitaire qui s'ajoute au risque bactérien (OMS, 1989). C'est la raison pour laquelle la législation tunisienne interdit l'irrigation des cultures maraîchères (cultures rentables) par les eaux usées secondaires, d'où l'intérêt nouveau qui apparaît pour les traitements de désinfection permettant l'élimination des polluants à risque sanitaire.

Actuellement, plusieurs procédés de désinfections des eaux usées sont utilisés en fonction des conditions locales et des objectifs visés. Elles font recours aux halogènes (chlore, brome...), aux peroxydes (d'hydrogène...), aux rayonnements (UV, solaires...) et à l'infiltration-percolation et à l'ozone. D'autres procédés font encore l'objet d'étude, comme la photocatalyse et la photosensibilisation.

Dans le cadre de ce travail nous avons utilisé la porphyrine cationique, l'éosine, le rouge neutre, le bleu de méthylène et la chlorophylle pour étudier l'effet de la photosensibilisation sur les formes de résistance des parasites. Pour ceci nous avons utilisé des souches d'œufs d'*Ascaris* et de *Taenia* selon différents protocoles expérimentaux.

Nous avons utilisé une lampe halogène OSRAM (1000 W, efficacité lumineuse = 30lm , W) comme source de photons. La distance entre la lampe et la suspension des œufs de parasites à traiter est variable. Elle oscille entre 8 et 35 cm. La suspension est composée d'eau distillée contaminée artificiellement par des œufs de parasites frais prélevés des selles d'animaux ou de chiens contaminés et d'eau usées prélevées à la station d'épuration de la Charguia. La concentration du photosensibilisant varie de 10 à 30µM, L. Le temps d'exposition à la lumière se prolonge jusqu'à 6 heures. Le flux lumineux utilisé est compris entre 235.5 et 870 W, m². Les résultats expérimentaux montrent que d'une manière générale, les oeufs d'*ascaris* sont les plus photo altérés malgré leur capacité de résistances dans le milieu environnant. Pour l'obtention d'une photo altération de 25 % des œufs d'*ascaris*, la porphyrine se révèle la plus efficace, suivi du rouge neutre et de

la chlorophylle. Le bleu de méthylène et l'éosine sont inefficaces pour une concentration égale à $10\mu\text{M}$, l. En augmentant cette dernière à $25\mu\text{M}$, l et en prolongeant le temps d'exposition à la lumière (6 heures) on obtient un résultat similaire avec l'éosine. Dans les mêmes conditions opératoires et en fixant le bleu de méthylène avec une résine, le taux d'altération des œufs d'ascaris ne dépasse pas 15%. Les niveaux d'altération atteignent des cassures par fissuration, cassures partielles et cassures totales avec libération du zygote dans le milieu.

Irrigation / eaux usées traitées / désinfection / photosensibilisation.

SESSION 3 :

VALORISATION DES SOUS- PRODUITS

Traitement et valorisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration : Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient

B. Soudi* et **M. Bazza****

**Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.*

*** Conseiller Principal Régional en Ressources en Eau et Irrigation, Bureau Régional de la FAO pour le Proche-orient,*

Email : b.soudi@iav.ac.ma

Résumé - La présente communication a pour objectif la mise au point sur les développements récents en matière de technologies et de valorisation des boues résiduelles, l'évaluation des avantages agronomiques et économiques qui en résultent et des impacts négatifs ainsi que les mesures de leur mitigation. Ces trois aspects sont traités, en mettant l'accent sur les expériences internationales et les possibilités d'adaptation des résultats aux zones dont les conditions climatiques, économiques et sociales sont similaires à celles de la région du Proche Orient (Sud-ouest de l'Asie, Moyen-orient et Afrique du Nord). Des propositions concernant l'usage rationnel des boues ont été également émises en tenant compte des spécificités agro-pédologiques et environnementales de ces régions. Les avantages et inconvénients des filières de traitements et d'évacuation des boues ont été développés. Il a été conclu que pour le contexte de la région du proche orient, les options de traitement de boues les plus justifiées sur les plans économiques et écologiques sont le séchage prolongé des boues dans des lits de séchage et/ou le compostage des boues ou leur co-compostage avec d'autres déchets biodégradables (déchets verts, déchets ménagers et déchets de agroalimentaires). Une attention particulière a été consacrée à la problématique des éléments traces métalliques qui représente la contrainte majeure limitant la valorisation des boues. En effet, si le séchage ou le compostage permettent d'anéantir les risques sanitaires liés aux pathogènes, la contrainte relative aux éléments traces métalliques demeure posée et nécessite d'être maîtrisée. Après examen exhaustif des normes en vigueur à l'échelle internationale, des normes guides, exprimées en terme de Teneurs Cumulatives Limites dans le sol, ont été proposées. Les principaux paramètres de sol pris en compte, en relation avec le risque de pollution métallique et de transfert des éléments traces dans les chaînes trophiques, sont le pH, la Capacité d'Echange cationique et la texture du sol. Notons que les sols de la région de proche orient sont dans la majorité des cas de pH neutre à franchement basique. Ces conditions sont atténuantes des risques d'accumulation des éléments traces dans les plantes à cause de leur faible solubilité dans ces conditions de pH. Aussi , la faible activité industrielle en

zones rurales et dans les petites et moyennes communes, fait que le problème de métaux lourds se pose avec moins d'acuité que les grands centres urbains.

En ce qui concerne les conditions d'utilisation des boues, quelques conseils pratiques sont proposés. Il était toutefois difficile de donner des recettes standards à ce propos à cause de la variabilité de la composition des boues assez bien illustrée par une variété d'exemples et de la nécessité d'adapter les doses et les méthodes d'application des boues à leur nature et aux types de sols. A ce niveau, la présente communication fournit des éléments méthodologiques qui guident l'évaluation de la valeur fertilisante des boues et le suivi et la surveillance de leurs impacts.

Manuel / boues résiduaires / valorisation agronomique / bonnes pratiques agricoles / Proche orient.

Caractérisation physico - chimique et microbiologique des boues urbaines en vue d'une valorisation agricole :

Cas de la station de Choctrana

A. Rhouma*, **K. Gargouri***, **S. Nefzi**** et **H. Bousnina****

**Institut de l'olivier, BP 1087, 3000 Sfax*

***INAT, 43 Av. Charles Niicole - Tunis*

Email : rhoumaali@meloo.com

Résumé - L'apport des boues pourrait être à l'origine de risques sanitaires et environnementaux liés notamment à la présence de métaux lourds, des composés organiques et des organismes pathogènes.

Ce travail a pour objectif de déterminer d'une part la quantité minimale d'échantillon représentative et, d'autre part, de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et micro biologique des boues urbaines de la station d'épuration de Choctrana .

La caractérisation a permis de constater que les boues présentent une potentialité non négligeable de point de vue richesse en matière organique et élément fertilisants, et ce, en comparaison avec les autres amendements organiques. Les concentrations en métaux lourds et en germes pathogènes sont inférieures à celles fixées par la réglementation internationale. Toutefois, les boues sont caractérisées par un pH trop acide, nécessitent un chaulage avant leur utilisation.

Boues urbaines / caractéristiques physico-chimiques / caractéristiques microbiologiques / valorisation agricole.

Traitement anaérobie des boues et valorisation du biogaz

M. Wauthelet*

**Epuvaleau asbl, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux,
2, Passage des Déportés, B-5030 Gembloux, Belgique
Email: wauthelet.m@fsagx.ac.be*

Résumé. Dans de nombreuses stations d'épuration, les bassins de décantation anaérobies ou les lagunes profondes produisent d'abondantes quantités de biogaz (méthane, gaz carbonique et sulfure d'hydrogène) qui s'échappent dans l'atmosphère, contribuant ainsi aux émissions de gaz à effet de serre. Les productions de biogaz atteignent 15 à 25 m³ par 1000 habitants et par jour.

S'il n'est pas utilisé, le biogaz est malodorant et polluant. Mais il est très riche en énergie (> 7 kWh/m³) et peut être exploité pour produire différentes formes d'énergie (électricité, chaleur, pompage,...) tout en éliminant les odeurs et la pollution de l'air.

Le traitement anaérobie des boues peut s'effectuer soit dans de simples bassins ou lagunes de décantation (de plus de trois mètres de profondeur), soit dans des digesteurs spécialement conçus.

Les bassins et lagunes seront aménagés en 'digesteurs' avec collecte du biogaz dans des gazomètres (bâches). Les boues digérées seront curées annuellement.

Dans la plupart des pays industrialisés, les boues sont extraites des décanteurs et traitées dans des digesteurs séparés. Plus de 1000 installations de ce type sont fonctionnelles dans le monde.

Dans les pays en développement et méditerranéens, la technologie du biogaz (la biométhanisation) est très peu connue des Institutions et des acteurs privés (gérants, bureaux d'études, personnel) actifs dans le domaine des eaux usées. Et ceux qui connaissent la technologie ne disposent souvent pas des capacités techniques et financières pour monter et gérer un projet 'biogaz'.

Aucune norme n'est encore envisagée pour limiter les odeurs (parfois très gênante pour le voisinage) et la pollution causée par les productions de gaz provenant des bassins anaérobies des stations d'épuration.

De nombreuses études pour l'implantation de nouvelles stations prévoient des bassins anaérobies, sans qu'il soit pour autant prévu une quelconque protection contre la pollution atmosphérique.

Le traitement anaérobie des boues s'avère être une technique efficace pour réduire les charges en polluants et les concentrations en germes pathogènes. Et contrairement au traitement aérobie, il permet à la fois de digérer et de

stabiliser rapidement les boues tout en réduisant leur volume et de fournir d'importantes quantités d'énergie.

Eaux usées / biogaz / valorisation / traitement anaérobie.

Wastewater recycling of olive mills in Mediterranean countries Demonstration and sustainable reuse of residuals

D. Herold*, **A. Neskakis*** et **D. Xanthoulis****

**Aachen University of Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering,
Ginsterweg 1, D-52428 Jülich, GERMANY*

***Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique
Email: herold@nts.umwelt.fh-aachen.de*

Abstract - Olive oil contributes about 60% in the total agricultural production of Crete, Hellas and its production has been increased by 6 % per year during the last decades, due to increased productivity of existing olive orchards and expansion of the total area of olive plantations. Therefore, a considerable amount of olive mills wastewater (OMW) is produced in Crete (370,000 tn/year) in a short period of time (November to March), generating the problem of proper disposal with no harmful effects for the environment. The objective of the WAWAROMED project was the treatment and reuse of olive mill wastewater (OMW), which in the Mediterranean region normally is stored in open basins and causes harmful ecological impact due to overflows during winter. With the support of the European Communities, Project Reference: ICA3-CT-1999-00011

Olive Mills / wastewater recycling / reuse of residual / Mediterranean countries.

SESSION DE POSTERS

Approche intégrée pour l'amélioration de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture irriguée dans le Cap Bon

F. Huibers *, F. Chenini ** et H. Jelassi*

**Wageningen University, Wageningen, the Netherlands*

***INRGREF, BP 10 2080 Ariana, Tunisie*

Email: chenini.faycel@iresa.agrinet.tn

Résumé - Dans la région du Cap Bon, l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture irriguée ne cesse d'occuper une place indispensable pour le développement économique régional. En effet, la station d'épuration SE4, mise en service en 1979 pour le traitement (boue activée) des eaux domestiques et touristiques et avec un nombre d'équivalent habitants de 81400, assure l'alimentation des périmètres irrigués d'Oued Souhil et Dar Chaabane-Messaadi et la recharge artificielle de la nappe.

Le traitement, la gestion-distribution et l'utilisation de cette ressource en eau qui est devenue de plus en plus indispensable pour le développement de l'agriculture irriguée dans la région, forme un système fonctionnel multidisciplinaire intégré. Afin de comprendre son fonctionnement et de proposer des améliorations dans le but d'intensifier les volumes utilisés en agriculture irriguée, une enquête a été réalisée et a touché plus de 13% (100 sur 747) des agriculteurs utilisant les eaux usées traitées dans les périmètres de Dar chaabane-messaadi et Oued Souhil.

L'état des lieux et l'analyse diagnostic montre que plus de 60% des agriculteurs de la région ont des superficies agricoles inférieures à 1ha avec plus de 80% d'agrumes. L'alternance de l'utilisation des eaux usées traitées et les eaux conventionnelles est pratiquée par 40% des agriculteurs, le reste dispose uniquement des eaux usées traitées. Le tour d'eau, qui dépasse parfois les 20 jours pendant le mois de pointe, est une contrainte majeure ressentie par les agriculteurs. La tarification semble ne pas changer le comportement des agriculteurs, par contre la demande de plus d'eau était ressentie chez plus de 25% des agriculteurs. Les aspects informationnels liés à la qualité de l'eau d'irrigation utilisée, l'évolution de l'état du sol ainsi que les apports en éléments fertilisants sont quasiment absents. En effet, 80% des agriculteurs n'ont aucune information sur la qualité et plus de 50% rajoutent des éléments fertilisants quantitativement équivalents à ceux utilisés avec des eaux conventionnelles.

L'approche intégrée pour améliorer l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture irriguée dans la région du Cap Bon est basée sur l'analyse de l'état des lieux et le degré de perception et d'acceptation des agriculteurs à l'utilisation optimale de cette ressource en eau. La vision de

l'aval vers l'amont permettra l'optimisation des paramètres de liaison et d'interdépendance des différents éléments du système multidisciplinaire intégré : traitement, gestion-distribution et agriculteur.

Dans cette région étudiée, cette approche intégrée a pu mettre en relief les maillons faibles de la chaîne en question qui sont liés essentiellement aux aspects informationnels et techniques.

Eaux usées / réutilisation / irrigation / analyse diagnostic / approche intégrée.

**Etude de l'efficacité de la photo désinfection des eaux usées par
différents photosensibilisants :
Cas de Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli**

S. Sabbahi*, M. Jemli* et Z. alouini*

**Institut National de Recherche en Génie Rural Eaux et Forêts*

Rue Hédi Karray, B.P. 10, Ariana, Tunis, Tunisie

Email :alouini.zou@iresa.agrinet.tn

Résumé - Tout projet de réutilisation des eaux usées impose la prise en considération des risques sanitaires liés à la présence potentielle de composés chimiques toxiques et de germes infectueux. Les agents pathogènes essentiellement d'origine entérique se sont avérés résistants et peuvent survivre durant des périodes variables au niveau des plantes, de l'eau et du sol (Feachem et al., 1983 ; Boutin,1990 et Hassen et al.,1992). Pour des raisons de santé publique et pour une irrigation des cultures maraîchères sans restrictions, un traitement complémentaire des eaux usées secondaires s'avère nécessaire. Une attention particulière est posée sur les techniques photocatalytiques exigeant la présence de molécules photosensibilisatrices exposées à l'irradiation de la lumière visible solaire ou artificielle. Pour évaluer les effets photodésinfectants du RB-2Na en tant que photosensibilisant sur Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli, nous avons étudié expérimentalement certains facteurs d'optimisation de la photosensibilisation par le RB-2Na telle que l'effet de concentration, du pH du milieu réactionnel, de la prolongation du temps d'exposition à la lumière visible artificielle ou solaire et le temps d'incubation en obscurité. Les résultats expérimentaux montrent que le RB-2Na possède un pouvoir photoinactivant non négligeable vis-à-vis de Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli et que son efficacité vis-à-vis Pseudomonas aeruginosa, à pH neutre (pH = 7) donne les meilleurs taux de mortalité par rapport aux pH acide et alcalin. Il ressort par ailleurs, que l'effet photodésinfectant de treize photosensibilisants sur Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli montre que la porphyrine est la plus efficace. Nous avons, ainsi entrepris l'étude de l'effet photosensibilisant de trois photosensibilisants choisis parmi trois gammes à savoir un photosensibilisant dont l'efficacité est supérieure à 80%, un second avec une efficacité classée entre 50 et 80 % et un dernier avec une efficacité de 20 % . Le phototraitement des eaux usées secondaires par différentes concentrations en chlorophylle, éosine et rouge neutre permet d'enregistrer différents taux d'abattement des bactéries indicatrices de pollution fécale des eaux usées.

Eaux usées / photo désinfection / photosensibilisation / pseudomonas / escherichia.

L'épuration : une technique hydroponique pour le traitement et la valorisation durable des eaux usées

M. Trad* et D. Xanthoulis**

**Institut National de Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts, BP.10 Ariana
2080, Tunisie*

***Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique
Email : rais.monia@iresa.agrinet.tn*

Résumé : Le coût élevé des traitements limite le développement de l'épuration des eaux usées en zones rurales et dans les petites communautés. L'épuration est une alternative simple et économique permettant à la fois le traitement et la valorisation des eaux usées. Il s'agit d'un nouveau procédé de traitement biologique basé sur le principe des cultures hydroponiques. Il peut être appliqué en tant que traitement principal aux effluents particulièrement contaminés tels que les lisiers et les margines, comme il peut constituer un traitement d'appoint destiné à réduire la charge polluante (chimique et microbienne) des effluents secondaires.

L'objectif du travail entrepris sur la station expérimentale de l'INRGREF à Nabeul consiste à évaluer les performances épuratoires de ce procédé sous les conditions climatiques et environnementales du Nord-est de la Tunisie.

Les rendements épuratoires de cette technique, mesurés dans le cas de différentes espèces végétales cultivées en hydroponie dans les effluents de la station de traitement par boues activées (SE 4) varient de 20 à 30 % pour la DCO et de 30 à 50 % pour les indicateurs fécaux. Le taux d'élimination moyen de NH_4^+ est de l'ordre de 35% ; celui de NO_3^- est plus faible ; il est de l'ordre de 18% alors que le phosphore total est éliminé à raison de 42 % en moyenne.

Sur la base des résultats obtenus, ce procédé peut présenter un intérêt en tant que mode de valorisation des effluents traités par voie biologique avant leur rejet dans le milieu naturel. Utilisées pour la production de plantes ornementales, l'épuration pourrait contribuer à l'embellissement de certains sites tout en améliorant la qualité des rejets.

Eaux usées / Traitement / valorisation / épuration / hydroponie.

[TEXTE COMPLET A TELECHARGER \(PDF\)](#)

Etude de l'impact des eaux usées traitées sur les caractéristiques physiques des sols

Z.Chaabouni*, **H.Nahdi****, **F.Chenini*** et **D.Xanthoulis*****

**Institut National de Recherche en Génie Rural Eaux et Forêts*

Rue Hédi Karray, B.P. 10, Ariana, Tunis, Tunisie

***INRAT Rue Hédi Karray 2049 Ariana*

****Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux,*

2, Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique

Email : zouhaier.chaabouni@iresa.agrinet.tn

Résumé - un essai expérimental a été mené sur une période de 4 ans pour étudier l'impact des eaux usées traitées sur une des caractéristiques physiques des sols à savoir sa stabilité structurale en surface.

L'essai est mené à la station expérimentale de Nabeul sur une parcelle d'oliviers planté sur un sol classé comme "sablo-argileux" à "argilo-sableux" et irrigué par deux qualités d'eau "eau usée traitée" et eau de nappe". La méthode d'analyse des échantillons de sol est celle de Hénin : on détermine l'indice d'instabilité structurale du sol "IS".

L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de variance pour les facteurs contrôlés au seuil de risque de 5%.

Les résultats ont montré que l'utilisation des eaux usées traitées en comparaison avec l'eau de nappe a significativement diminué l'indice d'instabilité structurale du sol pour les couches superficielles à la fin de la période de l'essai malgré la texture relativement légère (sol "sablo-argileux" à "argilo-sableux").

Irrigation / eaux usées / stabilité structurale / analyse variance / texture.

Impact de l'irrigation aux eaux usées traitées sur la qualité de l'huile extraite des « Olives N'chira »

M.Gharsallaoui*, A. Rhouma* et M. Khlif*

**Institut de l'olivier, BP 1087, 3000 Sfax*

Email : khlif.mohsen@iresa.agrinet.tn

Résumé - La Tunisie est un pays où l'eau se fait rare, une bonne gestion des ressources en eau s'impose, d'où la nécessité de recourir à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.

Dans ce cadre la gestion des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sfax sud est confiée à l'Agro-Combinat « OTD ». Cette eau est cheminée vers la localité d'El Hajeb, sise sur la route de Gabès. Elle est utilisée pour l'irrigation des cultures fourragères, orge, sorgho, luzerne, avoine... en intercalaire avec l'olivier.

Les oliviers profitent de cet apport d'eau, nous avons voulu, par le présent travail, déterminer l'impact de ces eaux usées traitées sur la qualité de l'huile extraite des olives ramassées au sol dites « N'chira ».

Les olives ont été ramassées à différentes dates, afin de suivre l'évolution de la qualité des huiles extraites en fonction de la durée de leur séjour sur le sol.

Les résultats obtenus montrent que le temps de séjour des olives ramassées a un effet néfaste sur les caractéristiques physico-chimiques des huiles extraites de ces olives.

On peut conclure que plus les olives restent en contact avec le sol plus la qualité de l'huile extraite est détériorée. En effet, l'acidité est de plus en plus élevée, ces huiles sont fortement oxydées vu que leurs teneurs en composés mineurs sont faibles.

Eaux usées traitées / irrigation / Qualité de l'huile / Acidité / Oxydation.

[TEXTE A TELECHARGER \(PDF\)](#)

Evaluation de la toxicité et de la charge en pathogènes dans les eaux usées urbaines avant et après traitement par des procédés conventionnels et membranaires.

M. Ellouze*, A. Saddoud*, A. Dhouib* et S. Sayadi*

**Centre de Biotechnologie de Sfax, Laboratoire des Bio-procédés*

BP : « K », 3038, Sfax, Tunisie.

Email: sami.sayadi@cbs.rnrt.tn

Résumé - Les eaux usées traitées présentent, actuellement, en Tunisie, une alternative d'approvisionnement en ressources hydriques. Cependant, un contrôle et une haute qualité microbiologique et toxicologique de ces eaux sont fortement recommandés afin de prévenir tout problème sanitaire. Notre travail concerne l'évaluation de la qualité microbiologique, toxicologique et physicochimique des eaux usées suite aux traitements par les technologies conventionnelles et nouvelles.

Nous avons enregistré, dans les eaux usées municipales non traitées, une importante charge en pathogènes (de $4,3 \cdot 10^3$ à $2,5 \cdot 10^7$ UFC, 100 ml pour les coliformes fécaux, de $1,8 \cdot 10^2$ à $2,5 \cdot 10^3$ NPP, 1 pour les salmonelles et de 5 à 47 œufs, 1 pour les helminthes). Suite aux traitements par lagunage aéré ou par boues activées, cette charge dépasse encore les normes tunisiennes et celles requises par l'OMS pour l'irrigation (de $1,2 \cdot 10^3$ à $8 \cdot 10^5$ UFC, 100 ml pour les coliformes fécaux, de 0,1 à $5 \cdot 10^2$ NPP, 1 pour les salmonelles et de 1 à 29 œufs, 1 pour les helminthes).

L'application de la digestion anaérobie couplée à l'ultrafiltration permet d'éliminer tous les germes et d'obtenir ainsi une eau microbiologiquement conforme aux normes d'irrigation.

La présence de substances toxiques dans les eaux usées brutes engendre des difficultés techniques au point de bloquer le fonctionnement du système de traitement. En effet, nous avons enregistré des toxicités très élevées dans les eaux municipales qui persistent parfois après traitement. L'application du bioréacteur membranaire contribue à une réduction supplémentaire de ces substances toxiques, ceci est également confirmé par le test d'irrigation par ces eaux sur les tomates.

Eau usée / infiltration, percolation / traitement / micro-organismes pathogènes.

Mise au point et validation d'une méthode de minéralisation des boues des stations d'épuration en vue de l'analyse du mercure et de l'arsenic

S. Cherif*, H. Naouali * et A. Jrad**

**INRST BP 95 route touristique de Soliman 2050 H.Lif Tunisie*

***CITET, Bd de l'environnement, 1080 Tunis*

Email : semia.cherif@inrst.rnrt.tn

Résumé - Les boues d'épuration issues du traitement des eaux usées d'origine urbaine ou industrielles contiennent de nombreuses matières en suspension ou dissoutes. En vue de leur rejet dans le milieu naturel ou leur utilisation à des fins agricoles, il convient de les analyser aussi bien pour les substances utiles qu'elles contiennent que pour les matières fortement toxiques qui pourraient contaminer l'environnement et présenter un risque pour les milieux naturels et la santé humaine.

Notre travail a consisté à mettre au point, optimiser et valider une méthode de minéralisation des boues issues des stations d'épuration des eaux usées pour l'analyse de deux métaux très toxiques, à savoir, le mercure et l'arsenic. Le protocole consiste à ajouter à un échantillon de boue séchée et tamisée, de l'acide nitrique. Le tout est ensuite minéralisé au four à micro-ondes. Après ajout d'eau, l'échantillon est analysé pour l'arsenic par Induction Couplée à un Plasma (ICP) et pour le mercure par Absorption Atomique (AA). Trois paramètres qui pouvaient influencer la minéralisation ont été étudiés : la température de séchage de l'échantillon, le volume et la concentration d'acide nitrique ajoutés. La méthode a ensuite été validée sur une boue de concentration connue (définition des limites de répétitivités fonctionnelles) et les pertes évaluées en absence de matière organique.

Le protocole défini est donc valable pour la minéralisation des boues en vue de l'analyse de l'arsenic et du mercure. Il peut alors être utilisé à des fins aussi bien d'épuration que de contrôle.

Minéralisation des boues / analyse du mercure / analyse de l'arsenic.

[TEXTE A TELECHARGER \(PDF\)](#)

Nouvelle approche pour déterminer le volume du bulbe humidifié par un goutteur à la surface du sol

M. Hammami * et M. Maalej**

**Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, 7030 Tunisie*

***INRST BP 95 route touristique de Soliman 2050 H.Lif Tunisie*

Email : mohamed.maalej@inrst.rnrt.tn

Résumé - Dans ce travail, une nouvelle approche pour déterminer le volume du bulbe humidifié $V_b(t)$, par un goutteur placé à la surface du sol, est présentée. L'approche a été développée moyennant :

- l'hypothèse d'un écoulement piston de GREEN et AMPT (1911)
- l'expression de HAMMAMI et MAALEJ (1999) permettant de prédire la profondeur maximale $Z_f(t)$ du bulbe à partir de son rayon $R_f(t)$ mesuré à la surface du sol.
- L'hypothèse d'un bulbe de forme semi-elliptique, à symétrie axial et dont les diagonales sont respectivement confondues avec la surface et l'axe de symétrie.

Connaissant l'humidité initiale θ_i dans le sol, la conductivité hydraulique K_f et la teneur en eau θ_f au niveau du front d'humidification, cette approche permet de calculer le volume du bulbe $V_b(t)$ humidifié par un goutteur, à partir de mesures du rayon de la tache mouillée à la surface du sol.

Pour tester la fiabilité de l'approche, les valeurs de $V_b(t)$ prédites ont été comparées à celles déterminées à partir du bilan volumique lors d'essai d'infiltration dans un sol limino-argileux, successivement avec deux débits différents (1 l/h et 2 l/h) et pour une même durée d'infiltration égale à 12 heures. Les essais ont été menés au laboratoire dans un sol nu, supposé homogène et isotrope.

La comparaison des résultats montre une nette concordance des valeurs obtenues par les deux méthodes. En effet, l'écart entre les valeurs prédites et celles déduites (à partir du bilan volumique) est, dans tous les cas, de l'ordre des erreurs de mesure. La comparaison avec les données, obtenues par la solution de HEALY et WARRICK(1988), reflète aussi un bon accord des résultats.

Irrigation localisée / humidité du sol / front d'humidification / bulbe d'humidité.

Utilisation des eaux usées traitées dans les zones arides : Aspects socio-économiques

Y. Moumni*

**Institut des Régions Arides de Mednine
Route de Djorf Km 22 El Fjé, 4119 Mednine
Email : Moumni.Youssef@ira.rnrt.tn*

Résumé - En milieu aride l'eau est une ressource rare et précieuse. L'exploitation des ressources en eau est un problème complexe. Ainsi, il s'impose aux pays comme la Tunisie de multiplier les solutions surtout dans les zones arides pour protéger ses ressources naturelles. Autrement dit, il est question de bien mener une politique de protection de ces ressources. Le développement du secteur touristique est entre autres un exemple typique pour la concrétisation de cette politique. Depuis quelques années, dans le sud tunisien, l'accent est mis, non seulement sur l'extension des circuits touristiques en reliant le tourisme balnéaire aux tourisms montagneux et sahariens, mais aussi sur la modernisation de l'infrastructure touristique (hôtels, plages, transports, relais, centres de loisirs, etc...) . Toutefois, pour qu'elle soit compétitive à l'échelle internationale cette « industrie » doit diversifier ses produits. Ce poster se propose d'exposer un cas particulier pour montrer qu'entre les nouvelles exigences internationales et les contraintes de gestion des ressources en eau qui se font de plus en plus rares et coûteuses au vu des besoins importants en eau mobilisée pour de nouvelles activités, l'utilisation de l'eau usée traitée s'avère une solution « convenable » pour contourner ce genre de problèmes. Comment, à l'île de Djerba, les terrains de golf sont irrigués par les eaux usées traitées ? Comment la valorisation de ces eaux assure, malgré les contraintes du milieu aride, la durabilité des activités économiques d'un secteur (touristique) censé alléger la charge continuellement lourde dans le domaine agricole ?

Développement du secteur touristique / Contraintes de gestion des ressources en eau / Eaux usées traitées / irrigation.

[TEXTE A TELECHARGER \(PDF\)](#)

La nutrition minérale chez l'olivier Chemlali irrigué avec les eaux usées traitées

S. Bedbabis*, B. Ben Rouina et M. Boukhris**

** Faculté des Sciences de Sfax*

***Institut de l'olivier, BP 1087, 3000 Sfax*

Email : saida_bedbabis@yahoo.fr

Résumé - L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de l'olivier dans le domaine d'El Hajeb (15 Km au Sud de Sfax) est pratiquée depuis 1989. Dans la présente note, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'effet de ces eaux épurées sur la nutrition minérale de l'olivier. Ainsi, quatre parcelles sont choisies : deux irriguées à l'eau usée traitée qui diffèrent par l'âge des arbres (jeunes et vieux), une à l'eau naturelle et la dernière est conduite en culture pluviale. Pour ces parcelles, le suivi des réserves minérales : N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Cl dans le sol, les feuilles et les brindilles est réalisé.

Des expérimentations et observations ont été faites à la cadence mensuelle sur le matériel végétal et trimestrielle sur les échantillons de sol dans 80 premiers centimètres de profondeur. Quelques résultats préliminaires sont obtenus mais restent à approfondir afin de déterminer l'impact de ces eaux sur la croissance et la production de l'olivier et sur la qualité de l'huile extraite.

La caractérisation de l'état initial des réserves minérales du sol montre des différences entre les parcelles irriguées et celle non irriguée et entre les deux qualités d'eau. La teneur d'azote évolue entre 0.67% et 0.71% dans le sol irrigué aux eaux usées traitées. Elle est égale à 0.62 et 0.71% respectivement, selon que la parcelle soit irriguée à l'eau naturelle ou conduite en pluvial. Les mêmes tendances de résultats sont observées pour les autres éléments chimiques.

Ce même constat est observé dans les organes végétaux (feuilles et brindilles) puisque les concentrations de la plupart des minéraux diffèrent selon le mode de conduite de la nature de l'eau d'irrigation. Pour l'azote, ces teneurs se situent entre 2.06% et 2.52% dans les feuilles des arbres irrigués aux eaux usées et seulement 2.04% dans celles des arbres recevant l'eau naturelle. Pour le manganèse, ces teneurs se situent entre 0.008 et 0.44 mg/l. Pour le zinc, ces teneurs se situent entre 0.003 et 1.09 mg/l.

Irrigation de l'olivier / Eaux usées traitées / Nutrition minérale / Qualité de l'huile / irrigation.

L'utilisation des eaux usées traitées dans les périmètres publics irrigués en Tunisie

M. Barbouche*

**Unité de suivi et d'évaluation des Périmètres Irrigués
Ministère de l'Agriculture de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques*

Résumé : La superficie des périmètres publics irrigués équipés et exploités jusqu'à la fin de l'année agricole 2001, 2002 est de l'ordre de 6700 ha. Au cours de cette année les superficies des cultures irriguées (5985 ha) autorisées dans ces périmètres sont ventilées comme suit :

- 2844 ha de cultures fourragères (47.5%) dont 62% sont localisés dans le périmètre irrigué de Cébala –Borj Touil ;
- 1408 ha d'arbres fruitiers (23.5%) se trouvant notamment dans les périmètres de Soukra (392 ha d'agrumes), au Mornag (470 ha) et à Nabeul (230 ha) ;
- 1317 ha de céréales (22%) irriguées dont 99% aux périmètres de Borj-Touil et à Draa Tammar ;
- 416 ha de cultures industrielles (7%) : Millet et tabac.

Les pourcentages des superficies de ces cultures par rapport à la superficie de chaque culture irriguée dans tous les périmètres publics et privés exploités au courant de l'année 2001, 2002 sont les suivants :

- 2% pour les céréales irriguées ;
- 4% pour les fourrages irrigués ;
- 13.3% pour les cultures industrielles ;
- 1% pour l'arboriculture fruitière.

Malgré l'effort de vulgarisation et de sensibilisation, la superficie des cultures pluviales au courant de l'année agricole 2001, 2002 était de l'ordre de 2225 ha soit environ 27% de la superficie totale des cultures pratiquées dans ces périmètres à eaux usées.

La quantité d'eau usée traitée et pompée pour les périmètres publics irrigués au cours de la dernière décade du 20^{ème} siècle a surtout varié en fonction de la pluviométrie annuelle. C'est ainsi que ces volumes ont atteint :

- 21.229 millions de m³ pendant l'année agricole 1993-1994 caractérisée pour la sécheresse et l'importance des superficies réservées au cotonnier, ce qui représente environ 20% du volume d'eau usée traitée durant cette année ;
- 7.146 millions de m³ pendant l'année agricole 1995, 1996, la plus arrosée, représentant ainsi 6.2% du volume d'eau usée traitée.

La tarification préférentielle des eaux usées traitées (20 millimes le m³) appliquée à partir du premier janvier 1998 a eu un impact positif pour les périmètres de Zaouet Sousse et de Nabeul, c'est ainsi que :

- la superficie moyenne des cultures irriguées a augmenté de 34% à Nabeul par rapport à la période des quatre années qui ont précédé l'application de cette faveur ;
- la consommation moyenne en eau par ha équipé a augmenté de 94% à Zaouët Sousse et de 110% dans l'ensemble des périmètres de SOUHIL, MESSADI et BIR ROMANA durant la même période.

Eaux usées / irrigation / épuration / périmètres irrigués publics.

Evaluation de l'exploitation des périmètres irrigués à partir des eaux usées traitées

R. Al Atiri *, N. Gharbi* et S. Dkhil*

**Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux
Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques*

Résumé – La rareté de l'eau et l'augmentation des besoins justifient la recherche d'une ressource alternative aux ressources en eaux conventionnelles. C'est ainsi que les eaux usées traitées sont de plus en plus utilisées pour différents usages et principalement dans le domaine agricole.

Le volume actuel des eaux usées traitées (EUT) est de 147 millions de m³ par an provenant de 63 stations d'épuration de l'ONAS. Seulement 35 millions de m³, soit 20% du volume total des effluents traités, sont destinés à l'agriculture et sont mobilisés à partir des stations de pompages pour l'irrigation, le reste du volume est déversé dans le milieu naturel.

L'utilisation des EUT entre dans le cadre de la stratégie de mobilisation et de développement des ressources en eau du pays. Elle présente de multiples avantages. Comme ressource potentielle, son usage protège les milieux récepteurs et atténue l'impact de la sécheresse.

L'analyse de l'exploitation des EUT aux cours des cinq dernières campagnes d'irrigation a permis d'en évaluer les différents aspects (d'aménagement, d'exploitation, de mise en valeur, de respect des normes,...).

De gros efforts d'investissements, d'encouragement et d'amélioration des conditions d'utilisation des EUT sont consentis par l'Etat. Il en résulte, en somme, les conditions climatiques aidant, une nette tendance vers l'augmentation de l'usage agricole. Ainsi, la superficie irrigable est passée de 6100 à 7300 ha de 1998 à l'an 2002 respectivement, soit une augmentation de 20% en 4 ans après une période de stagnation de 8 ans, durant laquelle le cadre législatif s'est considérablement structuré. La consommation unitaire a augmenté progressivement de 1996 à l'an 2002 de 900 à plus de 2600 m³/ha/an respectivement (soit une consommation supplémentaire de 190 %) sans augmentation des risques sanitaires.

Eaux usées traitées/ Périmètres irrigués / Evaluation.

L'utilisation des sables et argiles naturelles dans le traitement tertiaire des eaux usées traitées dans les périmètres irrigués de la région de Gabès (Sud tunisien)

M. Grira*

** CRDA Gabes, Av. Abou el kacem Echchebbi, Cité Mnara, 6019 Gabès*

Résumé - Le traitement des eaux usées dans la STEP de Gabès se fait par boue activée, mais sans faire le traitement tertiaire les eaux traitées passent directement pour irriguer le périmètre d'Eddissa que le CRDA a installé pour valoriser ces eaux. Le périmètre présente actuellement une accumulation excessive des matières décantables à la surface du sol des parcelles en plus des polluants qui peuvent s'infiltrer tout au long du profil. Conscient de la gravité de la situation, le CRDA de Gabès a essayé de trouver des solutions efficaces pour minimiser les risques de pollution des sols. Les expériences faites convergent toutes vers le choix des matériaux filtrants capables de réduire au maximum la charge polluante des eaux usées traitées avec le minimum des coûts.

En résultats, on a établi une combinaison de deux sables avec des argiles qui sont tous disponibles dans la région de Gabès et qui ont des effets complémentaires pour réduire la charge chimique, biologique et bactériologique de eaux usées traitées.

Irrigation / Traitement / eaux usées / filtration.

Seasonal storage of reclaimed wastewater in Tunisia: a mean of upgrading microbiological quality

M. Trad*, D. Xanthoulis et N. Gardin****

**Laboratoire de microbiologie. Institut National de Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts, BP.10 Ariana 2080, Tunisie*

***Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique
Email : rais.moniam@iresa.agrinet.tn*

Abstract - Wastewater production increased dramatically in Tunisia during the last years. By the end of 2000, The volume of reclaimed water was 156 M m³ and It is expected to reach 269 M m³ in 2011. The use of reclaimed wastewater for agricultural purposes is gaining interest. As irrigation is practiced 5 to 7 months per year, there is a need to store wastewater produced in winter to be valuated during the dry season. To assess the impact of seasonal storage on the main characteristics of wastewater, trials were conducted in the coastal area of Nabeul situated in the North East of the country. The experimental basins had 2 and 4 m depth and were respectively 75 and 275 m³ in capacity. Bacterial removal was studied with regards to basin depth, retention time, climatic conditions and initial indicators content of the wastewater. Results have shown that storage provide disinfections that allows to meet bacteriological standards for unrestricted reuse in agriculture. Reduction in Faecal coliform number reached 3 log units within 3 days under summer climatic conditions. Bacterial indicators die-off slowed down with increasing reservoir depth and the correlation between coliform decay rate constant (K_b) and retention time (t) was found as : $K_b = 9476,6 \times t^{-2,175}$.

Storage of secondary effluent in basin for 7 months did not lead to an increase of water salinity nor a regrowth of bacterial indicators. Seasonal storage is therefore a useful tool for regulation, environmental pollution control as well as an efficient polishing treatment.

Bacteria removal / storage / wastewater recycling / Faecal coliform / modelling.

Etude in vitro de l'activité biologique de xéno oestrogènes à l'aide de modèles cellulaires bioluminescents des eaux usées des stations d'épuration tunisiennes

Mnif Wissem*, Guerfali Ibtissem*, Pillon Arnaud, Gomez Elena***, Balaguer Patrick** et Bartegi Aghleb***

* *Labo Biochimie et Environnement, 02/UR/09-01 Inst.Sup. de Biotechnologie. Monastir- Tunisie*

***INSERM Montpellier -France*

****UMR 5569 HydroSciences - DSESP - Faculté de Pharmacie – Montpellier-France*

E-mail : W_mnif@yahoo.fr

Résumé - La présence, dans l'environnement de polluants à effets modulateurs endocriniens provoque chez les animaux des perturbations de la fonction sexuelle et de la reproduction. L'impact sur l'homme n'est certainement pas négligeable via notre alimentation, les particules de l'air, l'eau ou les matériaux qui nous entourent. Ce problème est exemplaire car il illustre parfaitement le fait que l'analyse de l'environnement nécessite que les laboratoires disposent, non seulement de méthodes chromatographiques ou spectrométriques sophistiquées, mais aussi d'outils d'évaluation des effets biologiques globaux comme la toxicité aiguë, la génotoxicité et les effets perturbateurs endocriniens. Parmi ces perturbateurs les plus étudiés sont ceux capables de se lier au récepteur des oestrogènes et ainsi d'induire ou de moduler une réponse médiée par celui-ci. Ces oestrogéno-mimétiques sont d'origine diverse et présentent des structures chimiques différentes. Ce sont des substances d'origine naturelle dérivées de l'estradiol (estrone, estriol...), présentes dans les plantes (phyto-oestrogènes) ou les champignons (myco-oestrogène), ils peuvent être également des polluants environnementaux (pesticides, organochlorés, détergents tels que les alkylphénols, PCBs, phtalates), ou des hormones de synthèse (ethynyl-estradiol, RU486).

Dans notre travail on s'intéresse à l'étude des rejets des activités humaines qui sont souvent collectées et traitées par les stations d'épurations de plus en plus nombreuses en Tunisie. Ces eaux sont débarrassées des déchets en suspension dans un premier temps et ensuite remise en circulation pour l'arrosage urbain et l'irrigation des plantations non destinées à l'alimentation humaine ou directement rejetés dans la mer avec un impact possible sur l'environnement terrestre et marin.

Pour cela, les échantillons d'eaux (des stations d'épurations) concentrées par les cartouches C 18 sont éluées avec de méthanol suivi d'hexane. Nos résultats sur les différentes lignées cellulaires bioluminescentes permettant de révéler une activité oestrogénique alors que la présence de ligands des récepteurs aux hormones stéroïdes (des androgènes (AR), des

glucocorticoïdes (GR), des minéralocorticoïdes (MR), des progestatifs (PR)) n'est pas significatives et nécessite d'avantage d'analyses.

Eaux usées / xéno œstrogène / bioluminescence / station d'épuration / modèle.

[TEXTE A TELECHARGER \(PDF\)](#)

Réutilisation d'une eau résiduaire brute et épurée en agriculture : Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu , Cd et Cr)

**S. Fars*, K. Bousselhaj*, A. Nejmeddine*, N. Ouazzani*,
A. Laghmari** et A. Bouadili****

**Laboratoire d'analyses et d'écotoxicologie, département de biologie, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech, Maroc.*

***Laboratoire de télédétection, géosciences et environnement, Faculté des sciences et techniques, Béni-Mellal, Maroc.*

E mail : sfars@yahoo.fr

Résumé – Au Maroc, globalement, près de 93% du volume en eau mobilisable est destiné à l'agriculture pour irriguer une superficie de l'ordre de 1,2 millions d'hectares dont 0,85 millions le sont de façon pérenne. Cette superficie ne représente que 17% de surface agricole utile du pays qui est égale à 7,5 millions d'hectares.

L'accroissement incessant de la population a rendu nécessaire l'intensification de l'agriculture irriguée afin d'atteindre une sécurité alimentaire. Cette situation de pénurie en eau a incité les agriculteurs du Maroc à irriguer avec des eaux non conventionnelles telles que les eaux usées. Ces eaux sont appréciées en tant que ressource précieuse pour l'irrigation, mais aussi pour leur valeur fertilisante susceptible d'améliorer le rendement des cultures.

L'estimation du volume annuel des eaux usées rejeté par l'ensemble des milieux urbains au Maroc est de l'ordre de 370 millions de m³ pour l'année 1992. Il atteindra à l'horizon 2020, 900 millions de m³. Les superficies irriguées par ces eaux à l'état brut sont estimées à 7000 hectares soit uniquement 60 millions de m³/an d'eau collectée et réutilisée. Si la totalité des eaux usées était épurée puis réutilisée en irrigation, elle permettra d'irriguer 50.000 hectares environ, ce qui est loin d'être négligeable.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'épuration par une station à boues activées sur la qualité de l'eau traitée. Ainsi, nous avons comparé l'effet de trois types d'eau, l'eau usée brute (EB), l'eau usée épurée (EE) et une eau de puit témoin (ET) sur le rendement en biomasse de la culture et la nutrition azotée de la plante d'une part et sur le prélèvement de trois métaux lourds par la plante notamment, le Zn, Cu et Cd.

L'expérimentation a été conduite au champs sur le site de la station d'épuration de Béni-Mellal sur des parcelles élémentaires de 1m² de surface chacune. Les parcelles ont été aménagées en bloc aléatoire comportant un seul traitement, le type d'eau d'irrigation avec trois répétitions. La plante test utilisée est le ray-grass, cinq coupes à un mois d'intervalle ont été réalisées.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation importante de la biomasse quand on irrigue avec l'eau usée brute ou épurée.

En effet, le rendement moyen est passé de 0,98 T/ha pour l'eau témoin à 2,09 pour l'eau usée épurée et à 2,13 pour l'eau usée brute. Les rendements cumulés montrent qu'il y a une augmentation de 112% avec l'eau épurée de 116% avec l'eau brute.

En ce qui concerne la quantité d'azote exportée par la plante pour les deux types d'eau testés et pour les 5 coupes réalisées, la moyenne des coupes montre que l'exportation du N est passée de 20,7 kg/ha à 50 kg/ha pour l'eau épurée et 51,6 kg/ha pour l'eau brute. Pour les valeurs cumulées, elles sont passées de 103 kg/ha à 250 kg/ha pour l'eau épurée et 258 pour l'eau brute. Ces résultats montrent que le traitement n'a pas du tout diminué la valeur nutritive de l'eau épurée.

L'analyse métallique de la partie aérienne de la plante montre que sa teneur en Cu, Zn et Cd augmente par rapport au témoin aussi bien pour l'eau usée brute ou épurée. En effet, les teneurs enregistrées, respectivement pour ET, EB et EE sont de 16,8, 23,6 et 22,5 mg/kg pour le Zn, 7,64, 9,97 et 9,93 mg/kg pour le Cu et 0,24, 0,31 et 0,27 mg/kg pour le Cd. Malgré l'augmentation de la teneur métallique quand on irrigue avec l'eau usée brute ou épurée ces teneurs sont nettement inférieures aux valeurs maximales considérées comme normales.

Eaux usées / réutilisation / disponibilité de l'azote, Cu, Cd, Cr.

Use of Treated Wastewater for Irrigated Agriculture: Proposals for a Comparative Study of Bolivia, Ghana and Tunisia

S. K. Agodzo*, **F. P. Huibers****, **F. Chenini*****, et **P. Maldonado******

**Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana*

***Wageningen University, Wageningen, The Netherlands*

****National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry, Tunisia*

*****Water Center, Cochabamba, Bolivia*

Email : Frans.Huibers@users.tct.wau.nl

Abstract - This paper presents proposals for a comparative study of three countries (Bolivia, Ghana and Tunisia) in the use of treated wastewater for irrigated agriculture. The study proposal requires an inventory of urban water and sanitation and their institutional responsibility, current use of wastewater (treated + untreated), agricultural use of wastewater in urban and peri-urban areas, water quality and their short and long-term environmental effects, legislation on wastewater use, the costs of wastewater and any country strategies for wastewater use for irrigated agriculture. Initiated by the Irrigation and Water Engineering Group of Wageningen University and tied to an MSc programme, requiring a student and a collaborator each from the participating countries, the overall goal of the study is to document the potentials and restrictions of wastewater use under different conditions of overall water scarcity, social acceptance and governmental policies in the selected countries in order to stimulate discussions on a new conceptual approach of design and management.

Wastewater / water reuse / irrigation / wastewater reuse strategy.

Réutilisation des eaux usées riches en colorants

A. Souguir*, M. Baoueb* et A. Bartegi*

**Laboratoire de Biochimie et Environnement 02/UR/09-01 Inst. Supérieur de Biotechnologie, Monastir- Tunisie.*

E-mail : amani_sou@yahoo.fr

Résumé- La rareté de l'eau en Tunisie, qu'elle soit structurelle (principalement pour les ressources souterraines) ou conjoncturelle (en année sèche) est le principal mobile pour la recherche ou la production de toute ressource alternative pour remédier à ce manque. Ce qui justifie tout investissement supplémentaire pour obtenir une eau de bonne qualité et sa mise à la disposition un différent secteur économique selon sa qualité et son usage potentiel.

Dans le domaine agricole, les usages de prédilection sont l'irrigation des cultures et la recharge des nappes par les eaux usées traitées (EUT). Dans les autres secteurs économiques, l'irrigation des terrains de golf et des jardins municipaux par les eaux usées traitées est la pratique la plus répandue.

Le but de notre travail est de chercher une technique, simple et efficace pour réduire la pollution des eaux résiduaires des industries textiles riches en colorants et la rendre à un niveau compatible pour une meilleure utilisation. Nous nous proposons d'étudier un colorant acide très utilisé dans les industries textiles, qui est le colorant Yellow Acid99 ou (AY99).

Pour cela nous avons produit par synthèse chimique un filtre à base d'un polymère naturelle (la cellulose). Ce filtre s'est avéré efficace pour traiter une eau chargée en colorant AY99 à une concentration de 50 mg/l (concentration maximale du colorant à la sortie du bain de teinture) et permet de débarrasser cette eau de ce contaminant. Pour tester l'impact de l'eau traitée (après passage par le filtre), nous avons suivi le développement de la plante de fève (*vicia faba L.*) pendant un mois, tout en irriguant par l'eau traitée (25ml/72h) et en comparant les résultats trouvés avec la plante irriguée à l'eau polluée (50mg/ml) et avec un témoin pour lequel nous avons utilisé l'eau de robinet.

Pour pouvoir comparer l'effet sur la croissance de la plante de ces trois traitements, on s'était basé sur le suivi des modifications morphologiques et biochimiques. Comme résultats nous n'avons pas trouvé de différence, entre la plante irriguée avec l'eau de robinet et celle irriguée avec l'eau dépolluée (traitée par le filtre). Par contre, il y a une différence nette pour la plante irriguée par l'eau polluée.

L'analyse du profil électrophoretique des protéines totales pour les trois cas montre une différence au niveau des bandes prothétiques.

En définitif, nos résultats montrent que le filtre synthétisé chimiquement, dépollue en éliminant le colorant (AY99) pour rendre cette eau compatible pour une utilisation en irrigation.

Eaux usées / irrigation / valorisation agronomique / Colorant / colorant yellow acid 99 / filtration.

[TEXTE A TELECHARGER \(PDF\)](#)

Modifications des propriétés physiques de deux textures de sols sous l'effet des boues résiduaires urbaines

I. Ben Jemia* B. Houmène et M. Gueddari****

**Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêt – BP 10, Ariana.*

***Faculté des Sciences de Tunis – Campus Universitaire, 1060Tunis.*

Résumé - Les quantités des boues résiduaires produites en Tunisie jusqu'en 1999, sont totalement utilisées pour l'amendement des sols cultivés. Les études qui portent sur l'incidence de ces apports sur les propriétés physiques des sols sont très peu nombreuses. On s'est alors proposé de mener des essais en plein champ sur deux sols cultivés et de textures différentes : sablo-limoneuse et limon-argileuse.

Dans l'objectif d'étudier l'effet de différentes doses des boues : 0T/ha (témoin), 40T/ha, 80T/ha et 120T/ha sur les caractéristiques physiques de ces sols des mesures de la densité apparente par la méthode des cylindres, de l'humidité caractéristique au point de flétrissement et à la capacité de rétention, et de l'indice de stabilité structurale par la méthode d'Hénin (1958), ont permis de détecter des réarrangements structuraux notables.

L'évolution a été surtout détectée dans le sol à texture grossière, malgré la courte durée de la période d'étude (4mois). Les améliorations de la densité apparente et de la rétention d'eau à la capacité au champ du sol sablo-limoneux sont nettes et significatives sous l'effet de différentes doses des boues apportées.

Sol / propriétés physiques / boues résiduaires / texture.

Evaluation économique du traitement des eaux usées par épuvalisation: cas de la station de Oued Souhil – Tunisie

H. El amami*, D. Natsoulis, M. Trad* et D. Xanthoulis*****

** Institut National de Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts, BP.10 Ariana
2080, Tunisie*

***Matera – Bruxelles , Belgique*

****Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*

Email : amami.hacib@iresa.agrinet.tn

Résumé - La réutilisation des eaux usées traitées, notamment en agriculture, a été l'une des caractéristiques de la politique hydraulique du pays depuis les années 60, dans le double objectif de protéger l'environnement et d'atténuer la compétition pour l'usage de cette ressource entre les différents usagers.

D'importants investissements ont été alloués pour la construction des stations d'épuration et des bassins de stockage et l'aménagement de périmètres irrigués. Toutefois, les données disponibles font apparaître une utilisation encore faible du volume annuel traitée ; de l'ordre de 30% seulement. Plusieurs raisons sont avancées pour expliquer cette situation; mais il semble que la raison principale demeure la qualité non satisfaisante de l'eau et la restriction imposée au niveau du choix des cultures à pratiquer. L'une des solutions préconisées pour inciter les agriculteurs à une utilisation adéquate de cette ressource, est le traitement plus poussé de ces eaux.

L'épuvalisation, procédé biologique de traitement utilisant les plantes, constitue l'une de ces techniques. Ce système de traitement a montré sa fiabilité dans plusieurs pays méditerranéens. Toutefois, les résultats économiques, notamment en matière du coût additionnel de traitement de l'eau et de son impact sur le revenu du producteur et la valorisation de cette ressource, restent limitées.

L'objectif de ce travail est de déterminer, pour la station expérimentale de Oued Souhil (Tunisie), le coût du traitement (tertiaire) de l'eau par cette technique et d'optimiser la valorisation économique de cette ressource. Un modèle de programmation mathématique a été construit pour une exploitation type afin de quantifier l'effet du traitement complémentaire (tertiaire) de l'eau sur le revenu de l'agriculteur, l'usage de la ressource et sa valorisation économique.

Les résultats obtenus montrent que dans les conditions de l'expérimentation, le coût du traitement tertiaire de l'eau a été de 0.327 DT par mètre cube ; soit 2 fois environ le coût moyen du traitement secondaire du mètre cube d'eau.

Traitement tertiaire / épuvalisation / évaluation économique.