



Le développement et l'application de solutions technologiques et de gestion cohérentes pour le traitement des eaux usées et leur réutilisation efficace pour une agriculture adaptée aux besoins des pays méditerranéens africains

www.madforwater.eu

Cher lecteur,

Bienvenue au deuxième bulletin d'information de MADFORWATER, un projet d'action de recherche et d'innovation Horizon 2020 financé sous le thème WATER-5c-2015 "Développement de technologies, systèmes et outils d'approvisionnement en eau et d'assainissement, et / ou méthodologies". L'objectif général de MADFORWATER est de développer un ensemble de solutions technologiques et de gestion intégrées pour améliorer le traitement des eaux usées, la réutilisation de l'eau traitée pour l'irrigation et l'efficacité de l'eau dans l'agriculture en Egypte, au Maroc et en Tunisie. MADFORWATER se focalise sur les eaux usées municipales, agro-industrielles et industrielles, ainsi que sur les eaux de drainage du Delta du Nil. Le développement et la validation des technologies sont combinés à la définition de stratégies de gestion intégrée de l'eau, adaptées au contexte local des bassins hydrologiques sélectionnés en Egypte, au Maroc et en Tunisie.

MADFORWATER, qui a démarré le 1er juin 2016, a atteint son 24ème mois d'activité. Au cours de ces deux premières années, les partenaires de MADFORWATER ont développé des technologies de traitement des eaux usées et d'irrigation avec des eaux usées traitées à l'échelle du laboratoire, et ont jeté les bases du développement de stratégies intégrées de gestion de l'eau. Au cours des deux dernières années d'activité, les technologies sélectionnées seront élargies dans 4 usines de démonstration de traitement intégré des eaux usées et d'irrigation avec des eaux usées traitées et les stratégies de gestion intégrée de l'eau seront finalisées.

Ce bulletin est principalement focalisé sur la présentation des résultats relatifs au développement des technologies en laboratoire. Vous trouverez également une brève analyse de l'utilisation des instruments économiques dans la gestion de l'eau en Egypte, au Maroc et en Tunisie, et une présentation du consortium MADFORWATER. Le prochain bulletin d'information sera publié en mai 2019.

Bonne lecture! Et si vous souhaitez recevoir plus d'informations ou mettre en place des collaborations, n'hésitez pas à nous contacter:

Coordinateur: Dario Frascari (dario.frascari@unibo.it)

Co-coordonateur: Giulio Zanaroli (giulio.zanaroli@unibo.it)

Contact pour dissémination: Valentina Cinti (V.Cinti@ciaotech.com)

Contents

1. Project MADFORWATER - Technologies pour le traitement des eaux usées	2
2. Technologies d'irrigation développées par le projet MADFORWATER	15
3. Utilisation d'instruments économiques dans la gestion de l'eau en Egypte, au Maroc et en Tunisie....	20
4. Prochains événements de diffusion des résultats du projet	21
5. Le consortium de MADFORWATER	22

Project MADFORWATER - Technologies pour le traitement des eaux usées

Eaux usées municipales

Principaux polluants à éliminer pour une réutilisation agricole

Composés organiques, azote, phosphore, TSS et agents pathogènes

Technologies principalement utilisées en Egypte, au Maroc et en Tunisie pour le traitement de ces eaux usées

La plupart des stations de traitement des eaux usées municipales situées en Tunisie, au Maroc et en Égypte utilisent des procédés aérobies à boues activées classiques (à faibles et moyennes charges) comme traitement secondaire. Peu de stations possèdent un traitement tertiaire pour l'élimination de l'azote et du phosphore avec des lagunes aérées. La désinfection par UV est utilisée pour le traitement tertiaire uniquement dans les stations pilotes. Le principal inconvénient du procédé à boues activées réside dans la consommation d'énergie électrique pour l'aération, alors que le principal inconvénient des lagunes aérées est la faible efficacité de l'élimination de l'azote ammoniacal ou du phosphore. La teneur en DCO et en DBO5 des eaux usées municipales traitées par les procédés susmentionnés dépasse généralement les limites imposées par les normes locales et ISO (par exemple la norme tunisienne NT 106.03) pour la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation. De plus, le contenu microbiologique des eaux usées traitées pose un risque pour la santé si elles sont utilisées pour l'irrigation agricole.

Brève présentation des technologies développées par MADFORWATER pour ces eaux usées

Le défi consiste à développer un train de traitement capable d'atteindre une efficacité et une fiabilité de traitement élevées, avec des coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance réduits. MADFORWATER développe une technique qui consiste à utiliser des lits bactériens percolateurs avec étage de nitrification utilisant des supports innovants à haute surface spécifique, pour le traitement secondaire des eaux usées municipales. En ce qui concerne le traitement tertiaire, trois techniques sont testées: a) les zones humides artificielles pour éliminer l'azote, le phosphore, les métaux lourds et les polluants émergents et b) les bioréacteurs à enzymes immobilisées.

TECHNOLOGIE 1: LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS AVEC NITRIFICATION UTILISANT DES SUPPORTS INNOVANTS À SURFACE SPÉCIFIQUE ÉLEVÉE (NITRIFYING TRICKLING FILTERS WITH INNOVATIVE HIGH-SURFACE CARRIERS)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

DBO résiduelle, azote, phosphore et agents pathogènes

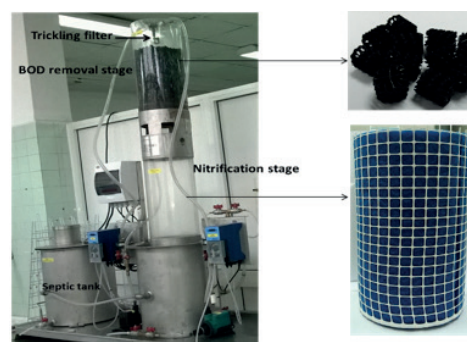
Description de la technologie

Le lit percolateur est composé d'un matériau en plastique poreux sur lequel les eaux usées sont distribuées pour ensuite ruisseler. Une distribution hydraulique rotative est généralement standard pour ce processus.

Cette technologie vise à:

- réduire les temps de rétention grâce à l'obtention d'une épaisseur de biofilm élevée,
- améliorer les performances de nitrification / dénitrification.

Le lit percolateur en pilote de laboratoire est configuré comme un système à deux phases. Dans la première phase, l'élimination de la DBO est accomplie, suivie de la seconde phase où la nitrification est réalisée.



Lit percolateur à avec étage de nitrification utilisant des supports innovants à surface spécifique élevée

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

Les lits percolateurs peuvent convenir aux pays cibles grâce à leur faible maintenance, leur installation bon marché et leur grande résistance aux fluctuations des charges hydrauliques et organiques. L'alimentation goutte à goutte présente également l'avantage de ne pas avoir le besoin d'aérer, ce qui réduit la consommation d'énergie puisque l'air y est naturellement convoyé, en raison de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. De plus, le système proposé combine le traitement secondaire et le traitement tertiaire permettant l'élimination à la fois de la DBO et de l'azote ammoniacal, ce qui le rend approprié pour obtenir une eau de qualité pour l'irrigation.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Une efficacité d'élimination allant jusqu'à 85% du DCO a été obtenue avec un temps de séjour hydraulique (TSH) de 20 jours. Les résultats ont montré une efficacité d'élimination d'environ 88% avec une DBO résiduelle d'environ 25 mg/l. Les effluents traités répondent aux normes tunisiennes (NT 106.03) et ISO pour la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en termes de DCO (DCO <90 mg/l) et de DBO (DBO <30 mg/l).

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Cette technologie relève du traitement secondaire et ressort partiellement du traitement tertiaire. D'autres traitements pour l'élimination des agents pathogènes devraient être intégrés.

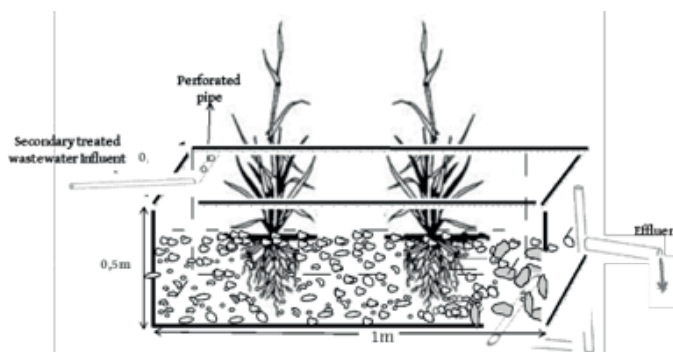
TECHNOLOGIE 2: ZONES HUMIDES ARTIFICIELLES (CONSTRUCTED WETLANDS)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Métaux lourds (Ni, Cd, Zn) et contaminants organiques émergents (bisphénol A, ciprofloxacine, sulfaméthoxazole)

Description de la technologie

Les zones humides artificielles pour le traitement des eaux usées impliquent l'utilisation de systèmes d'ingénierie élaborés et construits pour utiliser des processus naturels. Ces systèmes sont conçus pour imiter les systèmes des zones humides naturelles, en utilisant la végétation des terres humides, le sol et les micro-organismes associés pour éliminer les contaminants des effluents d'eaux usées. Ils peuvent atteindre plusieurs objectifs en termes d'élimination des contaminants, tels que les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène, les composés organiques et les constituants inorganiques pour atteindre les seuils réglementaires. Les mésocosmes horizontaux de flux souterrains en acier inoxydable, remplis de gravier et plantés avec l'halophyte méditerranéenne *Juncus acutus* L. sont alimentés avec des eaux usées municipales polluées par des métaux lourds et des contaminants organiques émergents.



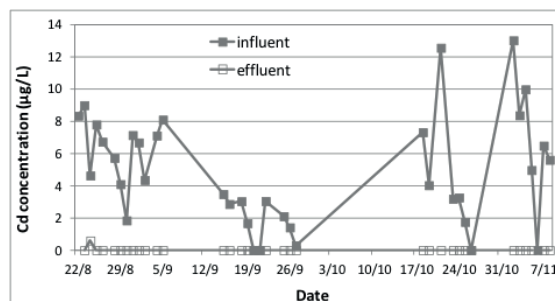
Représentation du système d'écoulement souterrain horizontal pour le traitement des eaux usées municipales polluées par les contaminants organiques émergents/métaux lourds.

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

Les zones humides artificielles sont peu coûteuses, peu énergivores, faciles à exploiter et à entretenir comparées aux systèmes de traitement conventionnels, capables d'absorber les contaminants pour atteindre les objectifs réglementaires et présentent un fort potentiel d'application dans les pays en développement, en particulier dans les petites communautés rurales. De plus, comme la sélection des espèces végétales appropriées constitue un paramètre important d'efficacité, les halophytes méditerranéennes se sont révélées être des candidats idéaux.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Avec des concentrations de métaux lourds influents dans les eaux usées municipales dépassant presque deux fois les limites relatives à la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation, les zones humides artificielles fournissent des capacités de suppression allant jusqu'à 99% pour le cadmium, 51% pour le nickel et 45% pour le zinc. Avec des concentrations influentes de contaminants organiques émergents de 100 µg/l de bisphénol A (BPA), 1 mg/l de ciprofloxacine (CIP) et 5 mg/l de sulfaméthoxazole (SXS), les zones humides artificielles assurent une efficacité d'élimination allant jusqu'à 76% pour le BPA, 94% pour la CIP et 27% pour le SXS sont enregistrés. Ces résultats ont été obtenus sans l'ajout de bactéries promotrices de la croissance des plantes ce qui pourrait améliorer l'efficacité globale du processus.



Concentration de cadmium dans l'influent et l'effluent des zones humides artificielles à écoulement souterrain horizontal

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Aucun

TECHNOLOGIE 3: BIORÉACTEURS À ENZYMES IMMOBILISÉES (IMMOBILIZED ENZYME BIOREACTOR)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Produits pharmaceutiques, micropolluants organiques

Description de la technologie

Cette technologie utilise des laccases immobilisées sur des particules de résine à faible perte de charge dans un réacteur à lit fixe alimenté par un flux continu d'eaux usées. Les laccases ont été sélectionnées car elles peuvent catalyser l'oxydation d'une large gamme de composés phénoliques et non phénoliques apparentés à la lignine, notamment de nombreux produits pharmaceutiques et micropolluants couramment retrouvés dans les eaux usées municipales et qui ne sont généralement pas dégradés dans les stations de traitement des eaux usées municipales conventionnelles. En plus de permettre un fonctionnement continu, on a démontré que l'immobilisation sur des supports solides améliore la stabilité enzymatique.

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

Le réacteur à lit fixe est facile à utiliser, ne nécessite pas d'instruments sophistiqués, de régulation ou de pompes haute pression et pourrait être plus approprié que d'autres configurations de réacteurs, comme les réacteurs à membrane, pour le traitement des eaux usées dans les pays africains.

Résultats obtenus à MADFORWATER

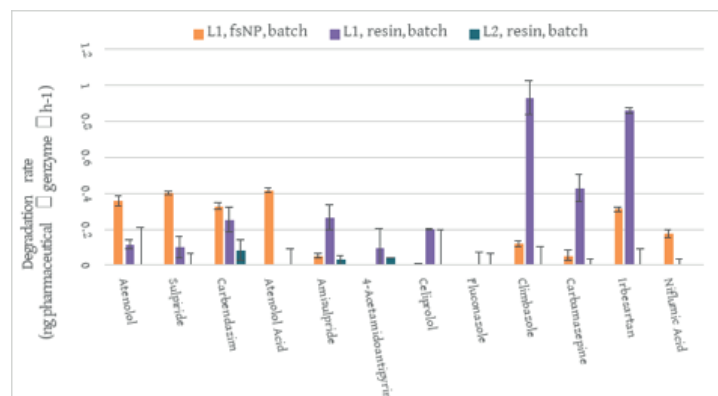
Les laccases de *P. sanguineus* (L1) et *T. versicolor* (L2) ont été immobilisées sur des particules de résine ou des nanoparticules de silice (fsNP) et testées dans un réacteur discontinu sur des eaux usées municipales chargées (500 ng/l de chaque composé). La laccase la plus efficace (provenant de *P. sanguineus*) a éliminé 7 à 83% des produits pharmaceutiques après 5 jours. Le traitement des eaux usées municipales existantes a été effectué avec la laccase de *P. sanguineus* dans un réacteur à lit fixe avec un débit continu. Une adsorption des micropolluants sur les supports d'enzyme a été observée lors des essais préliminaires, ce qui a entravé la quantification de la dégradation des polluants; D'autres expériences sont en cours.



Colonne de lit fixe garnie avec des enzymes immobilisées

ng/l	Tunisie	Drarga	Tiznit
4-acétamidoantipyrine	n.d.	163	112
Amisulpride	78	n.d.	101
Aténolol	384	117	219
Acide aténolol	151	124	90
Carbamazépine	23	245	443
Carbendazime	50	99	1
Celiprolol	180	n.d.	19
Climbazole	279	719	583
Fluconazole	164	512	407
Irbesartan	461	101	4
Acide niflumique	383	389	218
Sulpiride	161	70	178

Concentrations des produits pharmaceutiques dans les échantillons existants d'eaux usées municipales.



Dégradation de produits pharmaceutiques par des laccases de *P. sanguineus* (L1) et de *T. versicolor* (L2) immobilisées sur des nanoparticules de silice pyrogénée ou des particules de résine

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Cette technologie est considérée comme un traitement tertiaire. Le traitement primaire et le traitement biologique secondaire doivent être intégrés. Les coûts des enzymes et des résines utilisées pour l'immobilisation sont relativement élevés.

Eaux usées des moulins à huile (margines)

Principaux polluants à éliminer pour une réutilisation agricole

Composés organiques (COD 20-100 g/l); polyphénols (1-10 g/l)

Technologies principalement utilisées en Egypte, au Maroc et en Tunisie pour le traitement de ces eaux usées

Selon la législation tunisienne, la principale pratique de gestion des eaux usées des moulins à huile (margines) consiste à les déverser dans des bassins d'évaporation. Ce processus de traitement vise à réduire l'impact des margines sur l'environnement : risque d'infiltration avec forte émission d'odeurs désagréables. En effet flottation des substances huileuses résiduelles dans les margines, inhibe l'évaporation et crée des conditions anaérobies.

Brève présentation des technologies développées par MADFORWATER pour ces eaux usées

MADFORWATER développe deux filières alternatives de traitement des margines: la première est axée sur l'élimination des solides en suspension par microfiltration, la récupération des polyphénols du filtrat par adsorption et l'élimination finale de la DBO par biométhanisation; la seconde consiste en un traitement biologique aérobie dans un réacteur discontinu séquentiel avec ajout de chaux.

TECHNOLOGIE 1 : MICROFILTRATION ET RÉCUPÉRATION DES POLYPHÉNOLS PAR ADSORPTION (MICROFILTRATION AND POLYPHENOL RECOVERY BY ADSORPTION)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Solides en suspension et polyphénols

Description de la technologie

Une première étape de microfiltration, visant à éliminer les solides en suspension, est suivie d'une étape d'adsorption/désorption visant à récupérer les polyphénols. Cela conduit à la production de : i) un mélange riche en polyphénols qui, grâce à sa capacité antioxydante élevée, peut trouver une application dans plusieurs procédés industriels ou formulation de produits utiles et ii) une eau déphénolisée qui peut être traitée biologiquement d'une manière plus efficace. Deux colonnes fonctionnent en parallèle: alors que la première adsorbe les polyphénols des eaux usées des moulins à huile, la seconde désorbe les antioxydants recueillis au cours du cycle précédent. Le solvant de désorption (typiquement l'éthanol) est entièrement recyclé dans le procédé par évaporation et recondensation.



Station pilote de microfiltration pour l'élimination des solides en suspension dans les margines



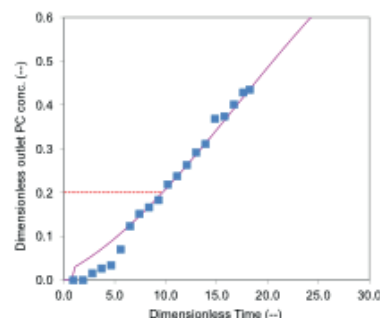
Station pilote d'adsorption pour la récupération des polyphénols des margines

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

Cette technologie est adaptée au contexte nord-africain étant donné qu'elle est à même de produire un mélange antioxydant pouvant potentiellement avoir une valeur marchande pertinente. En même temps, il est important d'éliminer les polyphénols des margines afin d'éviter tout effet indésirable de ces composés sur les plantes lorsque l'effluent traité sera utilisé en irrigation.

Résultats obtenus dans MADFORWATER relatifs à cette technologie

Le taux d'élimination des solides en suspension par filtration était très élevé (98%) avec une perte limitée acceptable de polyphénols (9%) avec les solides. Différents types de résines ont été testés pour l'étape de récupération des polyphénols à partir de la phase aqueuse. Une résine d'adsorption neutre (XAD 16) a été choisie comme étant la plus efficace. Cela conduit à la récupération d'un mélange de polyphénols caractérisé par une très forte capacité antioxydante. L'élimination des polyphénols est égale à environ 90%, ce qui conduit à une concentration de polyphénols résiduels dans l'effluent traité d'environ 0,1 g/l.



Concentration de sortie des polyphénols en fonction du temps à la sortie d'un test d'adsorption. Données expérimentales et simulation optimale

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

- Afin de produire une eau de qualité pour l'irrigation, la technologie proposée devrait être intégrée à une autre étape de traitement visant à la biodégradation des composés organiques (Ex. Digestion anaérobie).
- Le fonctionnement de la technologie proposée nécessite un personnel disposant des compétences techniques adéquates, et capable de gérer les processus d'adsorption, d'évaporation et de condensation.
- Certains problèmes de sécurité sont liés à la nécessité de stocker l'éthanol. La législation locale relative à la sécurité sur les lieux de travail devrait être appliquée avec soin.

TECHNOLOGIE 2: DIGESTION ANAÉROBIE (ANAEROBIC DIGESTION)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Matières organiques

Description de la technologie

Les composés organiques biodégradables (DBO) sont transformés en méthane et en dioxyde de carbone grâce à l'action combinée de micro-organismes acidogènes et méthanogènes. Le procédé est mis en œuvre dans des conditions anaérobies à 35-40 ° C dans un réacteur agité. Les margines déphénolisées peuvent être co-digérées en combinaison avec d'autres déchets agricoles. Le biogaz produit est généralement brûlé, conduisant à une production combinée de chaleur et d'énergie électrique.



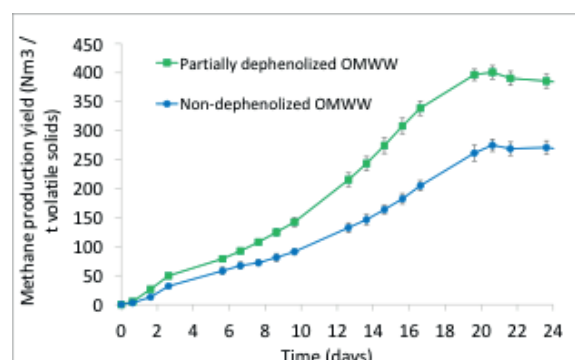
Station pilote de digestion anaérobie pour le traitement des margines

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

La digestion anaérobie se caractérise par un niveau de complexité technique moyen à bas et par une consommation d'énergie nulle. D'un autre côté, cela conduit à la production d'énergie électrique qui peut être vendue au réseau énergétique local. La production d'une eau de qualité pour l'irrigation nécessite un temps de rétention élevé pour l'élimination complète du DBO et une étape supplémentaire de traitement pour la séparation solide / liquide (par exemple, un filtre-pressé). Le digestat solide produit peut être utilisé comme engrais.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Les résultats indiquent que les margines sont un bon candidat pour le processus de digestion anaérobie, avec un rendement de production de méthane relativement élevé (260-400 NL_{CH₄} /kg Solides volatils) et un taux de production de méthane acceptable (110-200 L_{CH₄}/m³_{digestat} /d). La déphénolisation des margines conduit à une réduction de 30 à 40% des performances du procédé. Les essais visant à évaluer la capacité du procédé à atteindre les faibles concentrations de DBO requises par les normes ISO pour la réutilisation de l'eau en agriculture (<100 mg/l) sont toujours en cours.



Rendement de production de méthane déphénolisé et non déphénolisé obtenu avec les eaux usées des moulins à huile

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

La digestion anaérobie des margines est adaptée au contexte spécifique de l'Egypte, du Maroc et de la Tunisie.

TECHNOLOGIE 3: TRAITEMENT BIOLOGIQUE AÉROBIE DANS UN RÉACTEUR DISCONTINU SÉQUENCÉ (AEROBIC BIOLOGICAL TREATMENT IN A SEQUENCED BATCH REACTOR)

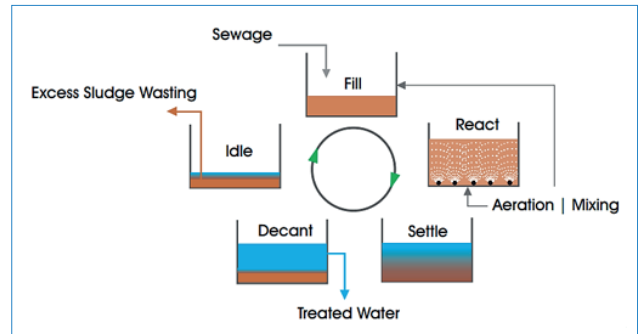
Polluants spécifiques visés par cette technologie

composés organiques, composés phénoliques

Description de la technologie

Les réacteurs discontinus séquencés (SBR) représentent une forme particulière de traitement par boues activées selon laquelle le processus de traitement a lieu dans le réservoir du réacteur et les clarificateurs ne sont pas nécessaires. Ce procédé traite les eaux usées en mode discontinu et chaque lot est séquencé par une série de 5 étapes de traitement: 1. Remplir ; 2. Réagir; 3. Régler; 4. Décanter et récupérer les eaux traitées et 5. Laisser au repos et récupérer l'excès de boue.

Premièrement, le réservoir est rempli par les eaux usées des moulins à huile. Au cours de la deuxième étape, le mélange est assuré par des moyens mécaniques et l'aération de la liqueur mixte est assurée par l'intermédiaire de diffuseurs fixés au fond de la cuve. Aucune aération et mélange ne sont prévus dans la troisième étape pour décanter les solides en suspension. Au cours de la quatrième étape, les eaux usées des moulins à huile, traitées et surnageantes, sont récupérées. Dans la cinquième étape, les boues en excès sont enlevées. Les eaux usées traitées sont ensuite soumises à l'ajout de chaux sous forme pulvérulente (CaO) jusqu'à atteindre un pH de 12.



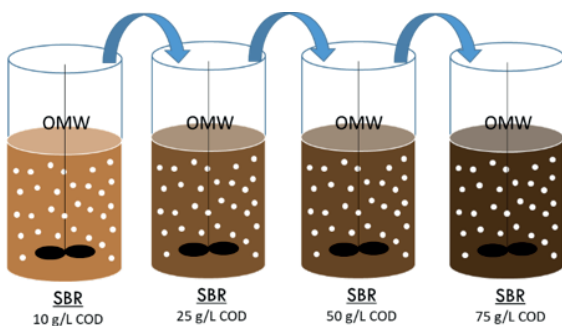
Principe de fonctionnement des réacteurs discontinus séquencés

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

Les réacteurs discontinus séquentiels peuvent être utilisés pour éliminer les nutriments et diminuer la demande biochimique élevée en oxygène des eaux usées industrielles. La configuration à un seul réservoir, la petite empreinte, l'extensibilité facile, le fonctionnement simple et les faibles coûts d'investissement comptent parmi les avantages de ce procédé. De plus, ce procédé a permis l'établissement d'une population microbienne stable, capable de dégrader des composés potentiellement toxiques. L'ajout de chaux pulvérulente permet l'élimination d'une fraction de la DCO et des composés phénoliques résiduels par des phénomènes de coagulation et d'adsorption.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Le réacteur discontinu séquentiel a étéensemencé avec un échantillon de boues activées provenant d'une station d'épuration municipale, qui a été acclimatée progressivement à des teneurs élevées en DCO initiales dans les margines avec un temps de rétention hydraulique (TRH) de 30 jours. Les concentrations de DCO dans l'influent des eaux usées des moulins à huile ont atteint 75 g l⁻¹. Des efficacités constantes de réduction du DCO (environ 60%) ont été obtenues avec un taux d'élimination stable de 1,5 g_{DCO} l⁻¹ jour⁻¹, indiquant la présence d'un consortium microbien stable. La combinaison du traitement biologique à l'ajout de chaux pulvérulente a permis d'éliminer jusqu'à 80% et 90% de la DCO et des composés phénoliques respectivement. Cependant, le DCO des eaux usées des margines traitées dépasse toujours les seuils fixés par l'ISO 16075 et les normes tunisiennes pour la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (NT 106.03).



Acclimatation progressive du consortium aérobie à des concentrations élevées des margines dans un réacteur séquentiel discontinu

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Cette technologie est adaptée au contexte spécifique de l'Egypte, du Maroc et de la Tunisie. Aucun obstacle spécifique n'est signalé en ce

qui concerne la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation. Cependant, une dilution ou un traitement supplémentaire est nécessaire afin de réduire davantage la concentration de DCO résiduelle.

Eaux usées textiles

Principaux polluants à éliminer pour une réutilisation agricole

Colorants azoïques, colorants azoïques sulfonés

Technologies principalement utilisées en Egypte, au Maroc et en Tunisie pour le traitement de ces eaux usées

La situation actuelle du traitement des eaux usées textiles dans ces trois pays est assez diverse. Certaines entreprises textiles ont déjà intégré des processus internes de traitement des eaux usées, visant à atteindre jusqu'à 60% de réintégration des eaux usées dans les processus. Les eaux usées traitées restantes sont rejetées dans le réseau municipal d'égouts. Dans certains cas, les effluents textiles sont rejetés directement dans le réseau municipal sans aucun traitement préalable. La coagulation est un procédé largement appliqué en tant que traitement préalable avant le traitement principal par boues activées, oxydation ou membranes. La coagulation vise à éliminer les particules colloïdales et les substances organiques. L'efficacité des procédés actuels est généralement instable par rapport à l'importante variation journalière et saisonnière du volume des effluents et de la charge organique et minérale. Un procédé adéquat capable de tolérer des pics occasionnels au niveau du volume d'effluent et de la charge organique doit être utilisé.

Breve présentation des technologies développées par MADFORWATER pour ces eaux usées

MADFORWATER développe un procédé de traitement secondaire dans un bioréacteur à lit mobile à appliquer en aval d'une étape de coagulation / floculation pour dégrader la DCO et les colorants, et deux procédés de traitement tertiaire alternatif visant à éliminer les colorants résiduels, à savoir i) dégradation enzymatique des colorants dans des réacteurs à lit fixe avec des laccases immobilisées et, ii) l'adsorption / désorption de colorants avec des résines magnétiques innovantes.

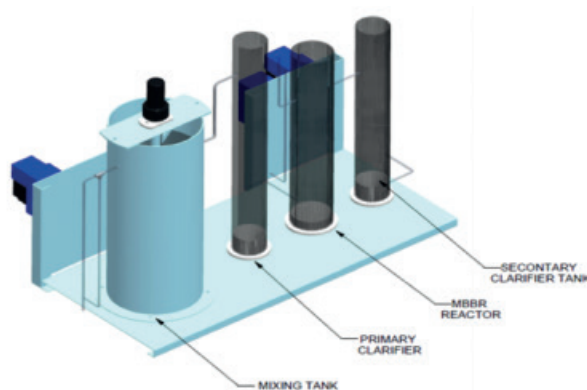
TECHNOLOGIE 1: BIORÉACTEUR À LIT FLUIDISÉ (MOVING BED BIOREACTOR)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Azodyes toxiques

Description de la technologie

Les eaux usées contaminées par des colorants toxiques sont pompées dans la première cuve de mélange où des coagulants - floculants sont ajoutés, puis elles débordent vers le clarificateur primaire pour la précipitation des particules en suspension. Les eaux usées s'écoulent vers le réservoir avec des supports (Bioréacteur à lit fluidisé), où la dégradation biologique se produit. Un aérateur fournit de l'oxygène à l'eau et fluidifie les supports de biofilm. Les boues peuvent se déposer dans le réservoir du clarificateur secondaire suivant, tandis que l'effluent de ce réservoir est recirculé à travers une pompe péristaltique vers le réservoir de biodégradation (Bioréacteur à lit fluidisé). Le système fonctionnait comme un réacteur discontinu, puisque le bioréacteur à lit fluidisé et le réservoir du clarificateur secondaire étaient seuls actionnés par recirculation.



Installation de laboratoire pour le traitement des eaux usées textiles dans un bioréacteur à lit fluidisé

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

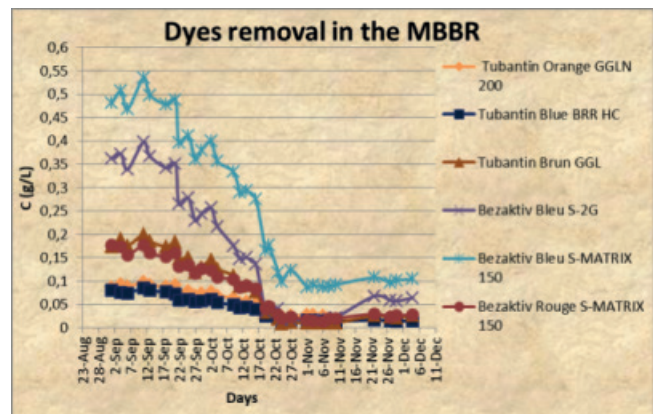
Cette technologie s'est avérée efficace dans la biodégradation des colorants dont la présence dans les eaux usées textiles pose un problème critique pour leur réutilisation dans l'irrigation.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Le bioréacteur à lit fluidisé a été alimenté en eaux usées synthétiques avec 0,08 à 0,48 g de concentrations de colorant par litres. Ces concentrations sont généralement obtenues après un traitement primaire avec des coagulants. Un consortium efficace isolé du milieu marin a été inoculé au système, développant la biomasse sur des transporteurs mobiles. L'efficacité de décoloration du système était supérieure à 80% pour tous les colorants testés durant 95 jours de fonctionnement. L'azote ammoniacal, l'azote total et le phosphore total ont été mesurés respectivement à 1,2, 35 et 2,7 mg/L. Selon les niveaux maximaux de nutriments dans les eaux usées textiles utilisées pour l'irrigation (ISO 16075) qui sont 30 mg/l pour l'azote ammoniacal, 35 mg/l pour l'azote total et 7 mg/l pour le phosphore total, les eaux usées textiles traitées peuvent être utilisées pour l'irrigation.

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie dans un contexte du système MAC et à la production des eaux usées traitées pour l'irrigation

Dans l'ensemble, il ne devrait pas y avoir de problème dans l'application de la technologie du bioréacteur à lit fluidisé; Cependant, il faut faire attention à l'élimination des boues de la phase primaire. Si les quantités sont faibles (lorsque des coagulants coûteux sont utilisés), un séchage et une élimination simples devraient être pertinents. Dans le cas où de la chaux est utilisée, la quantité de boues aqueuses produite est très élevée (près de 30 à 50% du volume initial des eaux usées) et une technologie de traitement spécifique doit être envisagée.



Elimination des colorants des eaux usées textiles dans le bioréacteur à lit fluidisé

TECHNOLOGIE 2: BIORÉACTEURS À ENZYMES IMMOBILISÉES (IMMOBILIZED ENZYME BIOREACTOR)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Colorants azoïques, colorants azoïques sulfonés

Description de la technologie

Les laccases et les peroxydases sont des enzymes connues capables de décolorer différents types de colorants. Cette technologie utilise des enzymes immobilisées dans un réacteur à lit fixe pour traiter les eaux usées textiles. L'immobilisation des enzymes améliore habituellement la stabilité de l'enzyme. Des particules de résine (taille de 100 à 300 µm) ont été utilisées comme supports d'enzyme et le réacteur à lit fixe a fonctionné en mode continu.

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

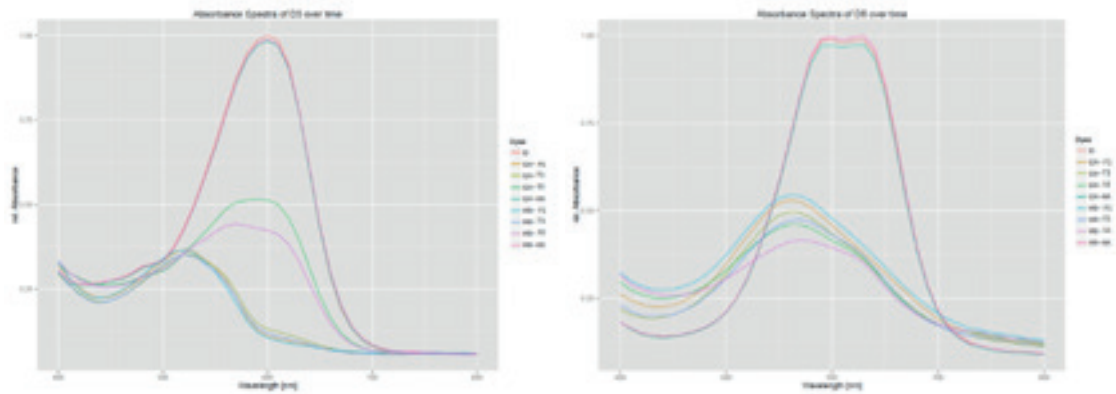
Le réacteur à lit fixe est facile à utiliser, ne nécessite pas d'instruments sophistiqués, de régulation ou de pompes haute pression et pourrait être plus adapté aux autres types de réacteurs utilisant des enzymes immobilisées, comme les réacteurs membranaires, pour le traitement des eaux usées dans les pays africains.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Six colorants azoïques sulfonés ont été sélectionnés comme contaminants principaux des eaux usées textiles réelles. Les laccases des champignons *P. sanguineus* et *T. versicolor* ont pu décolorer deux des six colorants. La peroxydase fongique n'a éliminé aucun des colorants et la peroxydase de raifort n'a dégradé qu'un seul colorant. Les médiateurs redox permettent à la laccase d'oxyder davantage de composés. L'étape d'oxydation est réalisée par la forme oxydée du médiateur, générée lors de son interaction avec la laccase. Trois médiateurs redox différents ont été testés et le 1-hydroxybenzotriazole 1 mM a montré le plus large spectre de décoloration. Une décoloration partielle par la laccase de *T. versicolor* a été observée dans les eaux usées textiles auxquelles six colorants ont été ajoutés. Dans les expériences réalisées avec des laccases immobilisées, l'adsorption des colorants sur le support enzymatique s'est principalement produite, avec une dégradation négligeable des colorants. Des travaux sont en cours pour améliorer les performances de dégradation de l'enzyme immobilisée en modifiant les conditions de réaction.



Colonne de lit fixe garnie avec des enzymes immobilisées



La décoloration des colorants Bezaktiv Bleu S-Matrix 150 et Bezaktiv Bleu S-2G par les laccases, comme indiqué par la réduction de l'absorbance à 600 nm.

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Cette technologie dépend largement de la qualité des eaux usées textiles. Les enzymes ne sont pas capables de décolorer une grande variété de colorants structurellement différents et si la composition des eaux usées fluctue de manière significative, cette technologie peut devenir inefficace. Les colorants chargés négativement sont adsorbés par les supports d'enzymes. Les coûts des enzymes et de la résine utilisés pour l'immobilisation sont relativement élevés.

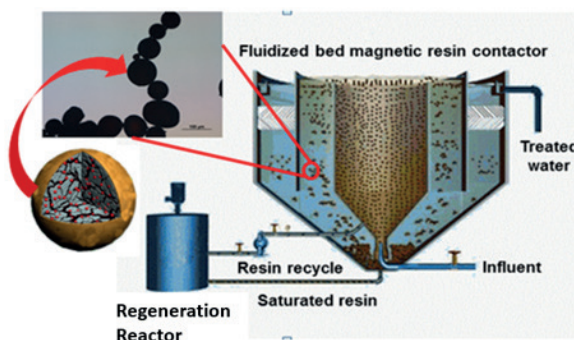
TECHNOLOGIE 3: ADSORPTION SUR DES RÉSINES INNOVANTES (DYE ADSORPTION ON INNOVATIVE RESINS)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Colorants et matière organique dissoute

Description de la technologie

La résine magnétique échangeuse d'anions développée par l'Université de Nanjing en Chine est spécialement conçue pour éliminer la matière organique et les colorants à charge négative de l'eau et des eaux usées. La résine magnétique échangeuse d'anions possède une matrice polyacrylique, une structure macroporeuse et des groupes fonctionnels à base forte. Les billes de résine ont un diamètre de 100-200 µm, ce qui a donné une surface spécifique et un taux de transfert de masse élevés par rapport aux résines conventionnelles. La résine magnétique échangeuse d'anions est utilisée en suspension dans un réacteur à lit fluidisé. Le noyau magnétique facilite l'agglomération et la sédimentation de la résine. La résine magnétique échangeuse d'anions peut être régénérée par une solution de NaCl



La résine échangeuse d'anions magnétiques et le réacteur à lit fluidisé

à 10% et le réacteur utilise un procédé de régénération continue à courant latéral permettant une qualité d'eau traitée constante. Environ 200 ~ 300 m³ d'eaux usées génèrent 1 m³ d'eaux usées de saumure.

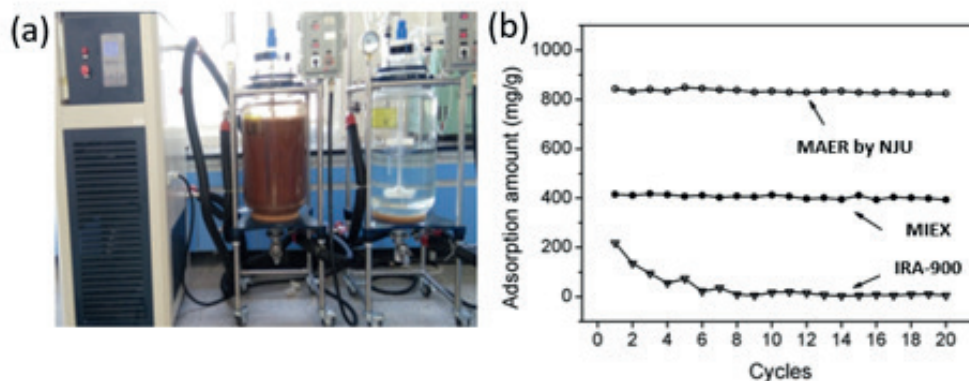
Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

La résine magnétique échangeuse d'anions a une capacité de traitement rapide et efficace pour l'élimination de la plupart des matières organiques et des colorants chargés négativement. Cependant, l'utilisation de NaCl et le traitement des eaux résiduaire de saumure

produites lors de la régénération de la résine limitent son application à grande échelle. L'usine de textile de ces pays produit généralement ~ 200 m³ d'eaux usées par jour, ce qui signifie que chaque jour 1 m³ d'eaux usées de saumure est produit. Le prix du NaCl est bon marché et les eaux usées de la saumure peuvent être évaporées grâce au taux d'ensoleillement local élevé.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Une nouvelle résine magnétique échangeuse d'anions a été développée en utilisant de l'itaconate de diallyle en tant qu'agent de réticulation, ce qui améliore significativement l'hydrophilie, la résistance et la capacité d'adsorption. Les résines magnétiques échangeuses d'anions saturées de colorant peuvent être efficacement régénérées par un mélange de solution de NaCl / NaOH (10% / 1%). Pendant 20 cycles, la résine échangeuse d'anions magnétiques a pu être réutilisée sans diminution notable de la capacité d'adsorption du colorant Orange-G, ce qui indique une performance antisalissure élevée pour l'élimination des matières organiques. Prise ensemble, la grande capacité, la cinétique rapide, l'excellente réutilisabilité et la séparabilité commode de la résine magnétique échangeuse d'anions en ont fait un bon candidat pour l'élimination des colorants et des polluants organiques des effluents de l'industrie textile.



La synthèse de la résine magnétique échangeuse d'anions et sa capacité d'adsorption sur le colorant Orange-G par rapport aux résines commerciales MIEX et IRA-900 échangeuses d'anions

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Les résines échangeuses d'anions ne peuvent pas éliminer les fibres, les matières organiques ou les colorants qui ne possédant pas une charge négative dans les eaux usées textiles.

Eaux usées des usines de conditionnement des fruits et légumes

Principaux polluants à éliminer pour une réutilisation agricole

Matières organiques (DCO), matières en suspension, fongicides

Technologies principalement utilisées en Egypte, au Maroc et en Tunisie pour le traitement de ces eaux usées

Selon les conditions locales, différentes options de traitement sont utilisées, telles que les fosses septiques, les lagunes aérobies ou les boues activées qui sont actuellement utilisées pour les eaux usées issues des industries de conditionnement des fruits et légumes. Ces technologies de traitement sont capables d'éliminer une partie des contaminants critiques (matières organiques persistantes, solides en suspension et fongicides), mais la qualité des effluents qui en résulte est médiocre par rapport aux normes de réutilisation.

Brève présentation des technologies développées par MADFORWATER pour ces eaux usées

Pour obtenir un effluent de haute qualité pouvant répondre aux normes de réutilisation, une filière de traitement combinant différentes technologies a été conçue: Réacteur de biofilm à lit mobile pour éliminer les contaminants organiques, et floculation avec flottation intégrée pour éliminer, d'une manière efficace, les matières en suspension et les enzymes fongicides résiduels. La sorption sur charbon actif peut être appliquée pour l'élimination des fongicides, représentant ainsi une alternative à la dernière technologie.

BIORÉACTEUR AÉROBIC À LIT MOBILE (MOVING BED BIOREACTOR)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Contaminants organiques dissous et colloïdaux

Description de la technologie

La technologie est basée sur l'utilisation de petits éléments porteurs en plastique ayant une densité similaire à celle de l'eau colonisée par des micro-organismes et formant un biofilm. Les supports sont mélangés avec les eaux usées dans un réservoir aéré et les micro-organismes éliminent les matières organiques dégradables des eaux usées. L'aération du bioréacteur sert à mélanger et à fournir de l'oxygène aux micro-organismes. Le temps de contact nécessaire pour les eaux usées spécifiques est d'environ un jour. L'eau traitée est retirée du bioréacteur, tandis que les porteurs sont retenus par un tamis. Les processus biologiques génèrent une certaine quantité de biomasse en excès, qui est éliminée lors de l'étape suivante de floculation et de flottation à l'air dissous (FAD), conjointement avec les solides en suspension provenant des eaux usées.



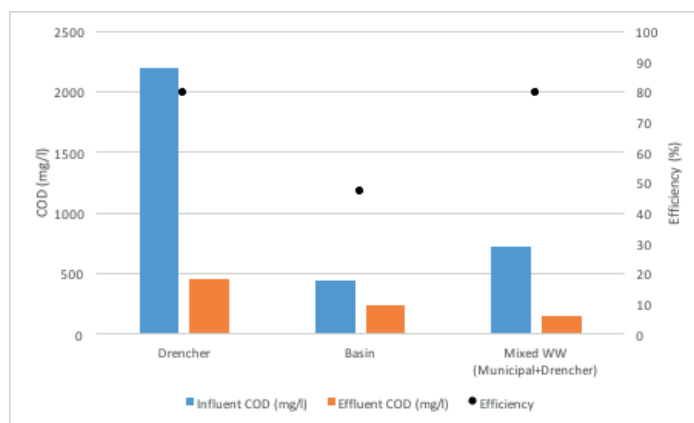
Support avec biofilm développé de réacteurs à lit fluidisé

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

La présence de composés toxiques et peu dégradables dans ces eaux usées peut affecter négativement les micro-organismes pendant le traitement biologique. La biomasse immobilisée sur le support est moins sensible à ces composés et peut être retenue dans le réacteur, empêchant le lessivage des organismes à croissance lente. Les réacteurs à lit fluidisé avec biofilm garantissent également une densité de biomasse élevée et donc l'utilisation de réacteurs plus compacts. La technologie est simple à mettre en œuvre et à utiliser.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Différents flux d'eaux usées provenant des usines de conditionnement des fruits et légumes ont été traités par la technologie des réacteurs à lit fluidisé. Cette technologie a permis d'éliminer 65 à 80% de la contamination organique (DCO). Certains fongicides ont également été éliminés efficacement, mais d'autres sont restés dans les eaux usées après traitement. Les matières en suspension des eaux usées sont traitées par floculation / flottation intégrée, qui constitue une partie intégrante de la filière de traitement proposée.



Élimination de la DCO de différents échantillons d'eaux usées par la technologie du réacteur à lit fluidisé

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

La production des eaux usées provenant du conditionnement/traitement des fruits et légumes est saisonnière. Cependant, le réacteur à lit fluidisé - comme d'autres méthodes biologiques de traitement des eaux usées - repose sur l'approvisionnement continu en substrat. Des eaux usées alternatives (par exemple un cours d'eau municipal) sont nécessaires pour les périodes d'indisponibilité.

FLOCCULATION ET FLOTTATION INTÉGRÉES (INTEGRATED FLOTATION AND FLOCCULATION)

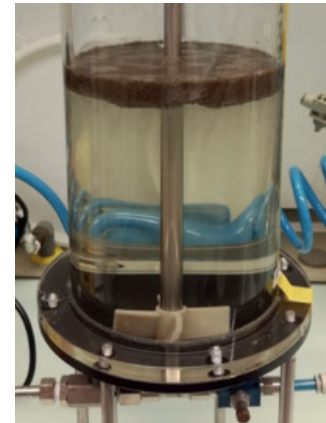
Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Matières en suspension, colloïdes

Description de la technologie

Le principe de la flottation à l'air dissous consiste à éliminer les particules en suspension dans les eaux usées en utilisant des microbulles générées par pressurisation. Les bulles s'attachent aux particules et les transportent à la surface, où elles forment une couverture de boues (jusqu'à 3 à 6% de solides secs). Les particules dans les eaux usées doivent être coagulées et floculées avant la pressurisation de l'air pour faciliter l'agglomération entre les particules et les microbulles. Dans le schéma proposé, ce principe est couplé au traitement par réacteur de biofilm à lit mobile pour éliminer les particules et la biomasse en excès. Une autre option consiste à ajouter du charbon actif en poudre à l'entrée du système de flottation pour la sorption des fongicides résiduels.

Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

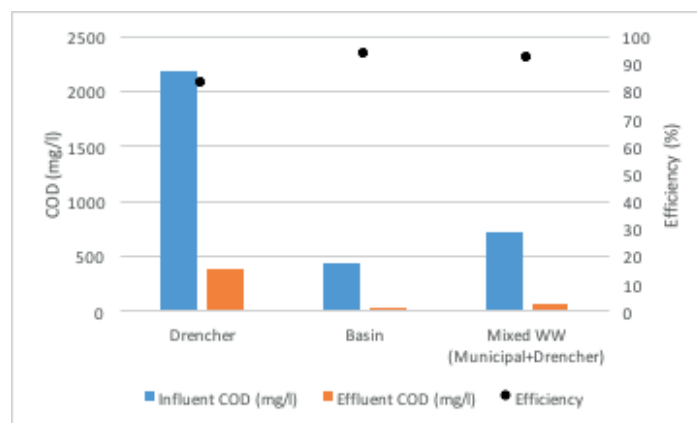


Séparation des solides en suspension dans une unité de flottation à l'échelle du laboratoire

Par rapport à la sédimentation, la technique de flottation à l'air dissous consomme plus d'énergie mais peut assurer une très grande efficacité d'élimination des solides à un temps de rétention hydraulique très court (quelques minutes). Cela permet la construction d'une unité compacte avec un débit volumétrique élevé. L'élimination très efficace des solides contaminés des eaux usées de conditionnement des fruits et légumes fournit de l'eau hautement purifiée pouvant être réutilisée et elle est également nécessaire pour le traitement ultérieur par des enzymes immobilisées / oxydation à l'UV.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Le procédé combiné pourrait éliminer efficacement les solides en suspension de tous les échantillons d'eaux usées testés provenant de l'usine de conditionnement des fruits et légumes (avant et avec le traitement biologique) jusqu'à <5 mg/l. Avec l'unité du réacteur de biofilm à lit fluidisé, l'efficacité d'élimination de la DCO était de 80-90%, en fonction de la composition des eaux usées (Figure 4). La meilleure qualité de l'eau a été obtenue avec une DCO <30 mg/l et une DBO <5 mg/l. Le processus combiné pourrait également éliminer les fongicides jusqu'à <0,1 mg/l, sauf pour le thiabendazol. L'ajout du charbon actif en poudre à l'entrée du système de flottation pourrait permettre une meilleure élimination du fongicide (90% environ).



Élimination de la DCO de différents échantillons d'eaux usées par une combinaison de réacteur à lit fluidisé + flottation à l'air dissous

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Pas d'obstacles spécifiques

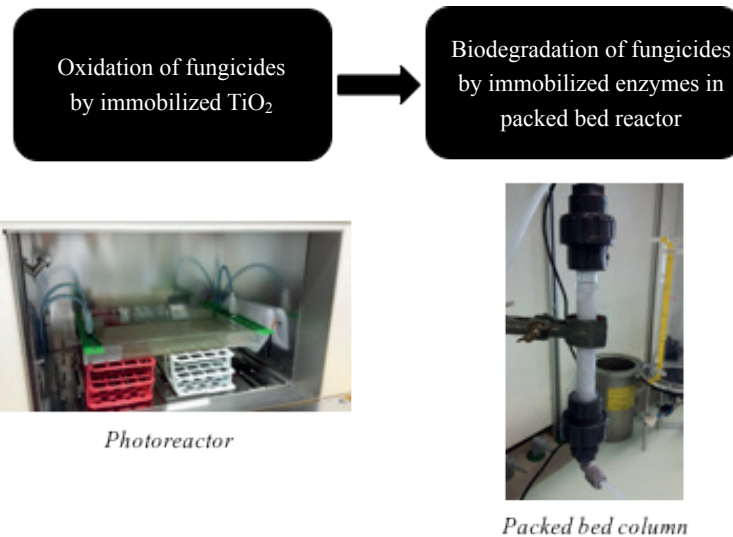
OXYDATION PAR UV AVEC DES LITS REVÊTUS DE TiO₂ COMBINÉS À DES BIORÉACTEURS À ENZYMES IMMOBILISÉES (UV-OXIDATION WITH TiO₂-COATED BEDS COMBINED TO IMMOBILIZED ENZYME BIOREACTORS)

Polluants spécifiques ciblés par cette technologie

Thiabendazole

Description de la technologie

Le traitement postérieur est effectué dans un photoréacteur avec du dioxyde de titane immobilisé. Le réacteur fonctionne en continu à la lumière du soleil. Les principaux produits de photo-transformation sont des dérivés hydroxylés des fongicides qui représentent des substrats plus facilement bioconvertibles. La technologie de traitement suivante utilise des laccases immobilisées. Les particules de résine ayant une faible perte de charge ont été choisies comme supports d'enzymes, ainsi un réacteur à lit fixe peut être construit et utilisé en continu.

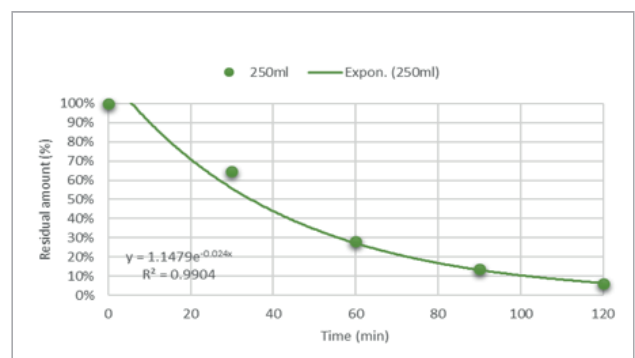


Caractéristiques spécifiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien, tunisien et/ou marocain et en accord avec les exigences de la norme ISO 16075 pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées

Le photoréacteur ne requiert pas de lampes UV ou d'énergie pour l'oxydation. Il peut être utilisé au soleil. Le réacteur à lit fixe est facile à utiliser, ne nécessite pas d'instruments sophistiqués, de régulation ou de pompes haute pression et pourrait donc être plus approprié que d'autres configurations de bioréacteurs, comme les bioréacteurs à membrane, pour le traitement des eaux usées dans les pays africains.

Résultats obtenus à MADFORWATER

Le thiabendazole dans les eaux usées synthétiques pourrait être dégradé par du dioxyde de titane immobilisé avec un rendement pouvant atteindre 94% en 120 minutes. L'analyse des particules de dioxyde de titane dans l'effluent traité a montré une libération très faible (<1%) qui a confirmé la bonne stabilité mécanique du photocatalyseur immobilisé. Cependant, l'efficacité du photo-réacteur a été significativement influencée par la matrice des eaux usées et réduite par l'encrassement biologique, puisque la photodégradation du thiabendazole dans les eaux usées réelles n'a pas été observée. Les étapes de lavage du photoréacteur devraient être introduites dans le processus de traitement. La laccase immobilisée n'a pas permis la dégradation du thiabendazole.



Photodégradation du thiabendazole par la laccase immobilisée

Obstacles spécifiques relatifs à l'application de cette technologie en Egypte, en Tunisie et/ou au Maroc et à la production d'eaux usées traitées de qualité pour l'irrigation selon la norme ISO 16075

Le photoréacteur peut fonctionner uniquement pendant la journée car une lumière solaire est nécessaire. Des lampes UV supplémentaires doivent être installées en cas d'utilisation nocturne. Les coûts des enzymes et de la résine utilisés pour l'immobilisation sont relativement élevés.

Technologies d'irrigation développées par le projet MADFORWATER

MICRO-ASPERSEUR ADAPTÉ À LA DISTRIBUTION D'EAUX USÉES TRAITÉES

Types de cultures ciblées par cette technologie

Cet micro-asperseur innovant est conçu spécifiquement pour l'irrigation sous le feuillage des vergers.

Nouvelles technologies utilisées en Egypte, au Maroc et en Tunisie pour l'irrigation de leurs cultures

Dans les pays ciblés, les vergers sont typiquement irrigués par des goutteurs quand l'eau est de bonne qualité, ou avec des micro-asperseurs si des problèmes de colmatage deviennent de plus en plus fréquents en raison de la présence de matières en suspension dans l'eau d'irrigation.

Description de la technologie

Cette technologie peut être utilisée dans le cas de l'irrigation sous le feuillage des vergers de manière à éviter le contact de l'eau avec les parties consommables. L'objectif est de développer un mini asperseur à bas prix qui réduit les risques de dissémination des pathogènes par les aérosols produits par les fines gouttelettes, et qui résiste aux éventuels problèmes de colmatage associés à l'utilisation des eaux usées traitées. Conçu pour gérer la taille des gouttelettes produites, le mini asperseur réduit la production de fines gouttelettes non souhaitées. Il est destiné à fonctionner à basse pression (<2 bar).

Le diamètre d'une gouttelette varie entre 0,5mm et 2,5mm : supérieur à 0,5 mm pour éviter la dérive des gouttelettes à cause du vent et inférieur à 2,5mm pour éviter le compactage du sol dû à l'impact des gouttelettes. Le contrôle de la distribution granulométrique est réalisé grâce à plusieurs facteurs combinés : la taille de la buse, la forme du canal du déflecteur et de la vitesse de rotation.

La conception de prototypes et l'optimisation de la forme de cet asperseur innovant représentent une partie importante de cette recherche. Concernant la maintenance et le conditionnement de l'eau, il s'agit d'atteindre un fonctionnement à long terme avec une filtration de 0,5 mm.

En termes de coûts, cette technologie est un dispositif en plastique simple, facile à monter et peu coûteux. C'est une technologie qui fonctionne à faible pression, sa mise en place sera possible sur une infrastructure d'irrigation classique très simple d'utilisation. En termes d'impact environnemental, la basse pression de fonctionnement de l'asperseur permet de réduire les pertes d'eau liées au vent, les consommations d'énergie et de conserver des installations d'irrigation de taille réduites.



Micro-asperseur antidérive

Les caractéristiques qui rendent cette technologie adaptée aux contextes égyptien, tunisien et/ou marocain et à l'utilisation des eaux usées traitées.

Les pays ciblés font tous état d'une considérable pénurie d'eau et d'un climat à fort taux d'évaporation. Le but initial de cette technologie est de pouvoir réutiliser les eaux usées traitées avec un risque minimal de colmatage et de réduire le risque de dissémination de pathogènes dans les conditions venteuses, tout en atteignant une taille de gouttelettes qui limite une potentielle dérive.

Ce qui, à son tour, diminuera toute évaporation potentielle.

Résultats obtenus par MADFORWATER concernant cette technologie

Les résultats obtenus à ce jour sont principalement liés à la distribution des gouttelettes de différentes tailles au long du rayon. Ces données ont été obtenues à l'aide d'un disdromètre laser-optique qui compte les gouttelettes et estime leurs tailles. Les mesures montrent que la taille des gouttelettes est proche de la gamme de diamètre prévue. Nous avons effectué des expériences avec des effluents pour tester cette technologie avec des eaux usées caractérisées par une présence de matières en suspension pertinente (> 200 mg /l). L'analyse de l'impact du vent sur la répartition de l'eau et la distribution granulométrique est en cours.

Les obstacles spécifiques concernant la mise en application de cette technologie avec des eaux usées traitées, en Egypte, en Tunisie et / ou au Maroc

La conception d'un tel micro-asperseur avec une durabilité élevée et des propriétés antidérive présente des obstacles dont la sélection des matériaux et la forme appropriée du déflecteur pour adapter les caractéristiques de distribution et résister à l'usure. Une expérience est en cours pour identifier/évaluer la nature des biofilms formés sur différents types de matériaux plastifiés.

BUSE D'IRRIGATION CALBRÉE ANTIVIDANGE

Types de cultures ciblées par cette technologie

Ce type d'émetteur peut être utilisé avec des cultures permanentes ou temporaires à haute valeur, mais il ne convient pas aux cultures céréalières ni à d'autres cultures plus extensives.

Nouvelles technologies utilisées en Egypte, au Maroc et en Tunisie pour l'irrigation de ces cultures

Cet émetteur pourrait être une alternative aux émetteurs d'irrigation goutte-à-goutte, car il ne nécessite pas un filtre de taille inférieure à 1 mm après la décantation de l'effluent. Cette propriété provient du fait que le débit est élevé, ce qui empêche tout dépôt dans l'émetteur pouvant entraîner un colmatage et diminuer l'uniformité de la distribution et donc compromettre l'efficacité de l'irrigation. Pour empêcher le lessivage ou le ruissellement liés au débit élevé, le distributeur est anti-vidange ce qui lui permet de fonctionner pendant de courts cycles (généralement à un rythme d'une impulsion/minute) pour fournir l'irrigation requise sans générer de ruissellement.

Description de la technologie

D'après la taille de la buse ajustée à l'émetteur, la décharge varie entre 30 et 100 l / h sous une pression de 0,5 à 2 bars. Cette décharge de pression élevée entraîne des taux d'irrigation instantanés qui dépassent la capacité d'infiltration de la plupart des sols agricoles. Par conséquent, l'opération est divisée en cycles courts (typiquement d'une ou deux minutes) répétés selon les besoins. Un bloc d'irrigation de 200 m prend environ 1 minute pour être rempli et pressurisé lorsqu'il est activé. Une membrane antifuite qui ferme l'émetteur à une pression de 0,35 bar a été ajoutée pour empêcher la vidange.

Ainsi, la pressurisation du système est presque instantanée, permettant une uniformité de distribution importante. La capacité de régulation de la pression de l'émetteur permet le maintien d'une distribution uniforme avec une taille de buse unique.

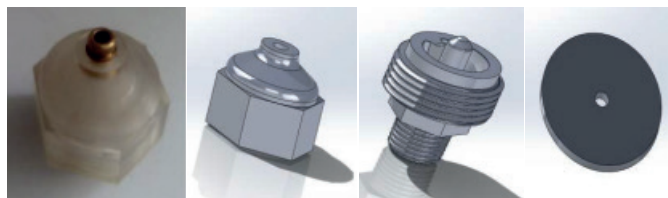


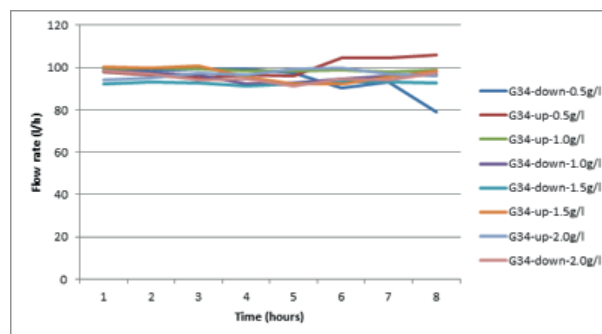
Schéma d'un émetteur antifuite

Les caractéristiques qui rendent cette technologie adaptée aux contextes Egyptien, Tunisien et/ou Marocain et à l'utilisation des eaux usées traitées.

Le principal avantage de cette technologie est sa capacité de résister à une concentration élevée de matières en suspension dans les eaux usées traitées ; un facteur qui nécessite normalement l'utilisation de systèmes de filtration fine ou des solutions de nettoyage fréquent lorsque les solides en suspension sont distribués avec des goutteurs de micro-irrigation. Il est vrai que ces filtres fins sont simples à utiliser mais nécessitent un entretien constant que de nombreux agriculteurs ne respectent pas à long terme. Cet émetteur innovant a été évalué avec des solides en suspension à des concentrations comprises entre 2 à 4 g / L ; aucun phénomène de colmatage n'a été observé. Cela prouve qu'il convient à l'utilisation avec des eaux usées traitées contenant des niveaux élevés de matières en suspension.

Résultats obtenus par MADFORWATER concernant cette technologie

Au cours du développement du projet, l'émetteur a été conçu comme prototype et évalué expérimentalement en termes de performance hydraulique et sensibilité au colmatage avec divers types de contaminants physiques (particules, voir le graphique ci-dessous et fibres). Le système a également été évalué en termes de mécanique des fluides par simulation numérique. Les essais se poursuivent au laboratoire avec des effluents synthétiques, développés de manière à reproduire les effluents des différents types d'eaux usées ciblées par MADFORWATER. D'autres essais avec de vrais effluents d'eaux usées traitées sont prévus dans des sites expérimentaux gérés par Irstea.



Évaluation du colmatage par des fibres, pour une concentration jusqu'à un maximum de 2 g / L (diamètre de 50-60 µm) avec la position de l'émetteur vers le haut et le bas

Les obstacles spécifiques concernant la mise en application de cette technologie avec des eaux usées traitées, en Egypte, en Tunisie et / ou au Maroc

Les pratiques liées à l'utilisation de ce type d'émetteurs sont différentes de celles relatives aux systèmes d'irrigation goutte-à-goutte existants. Il est nécessaire d'observer un temps d'adaptation, qui devrait bien évidemment être documenté, au cours de la dernière année du projet. La décharge élevée de cet émetteur ne convient pas à tous les types de cultures. Il serait peut-être nécessaire de modifier la taille des canaux d'irrigation pour changer la gamme de débits.

OUTIL DE MODÉLISATION POUR UNE PLANIFICATION OPTIMALE DE L'IRRIGATION AVEC DIFFÉRENTS TYPES D'EAU

Types de cultures ciblées par cette technologie

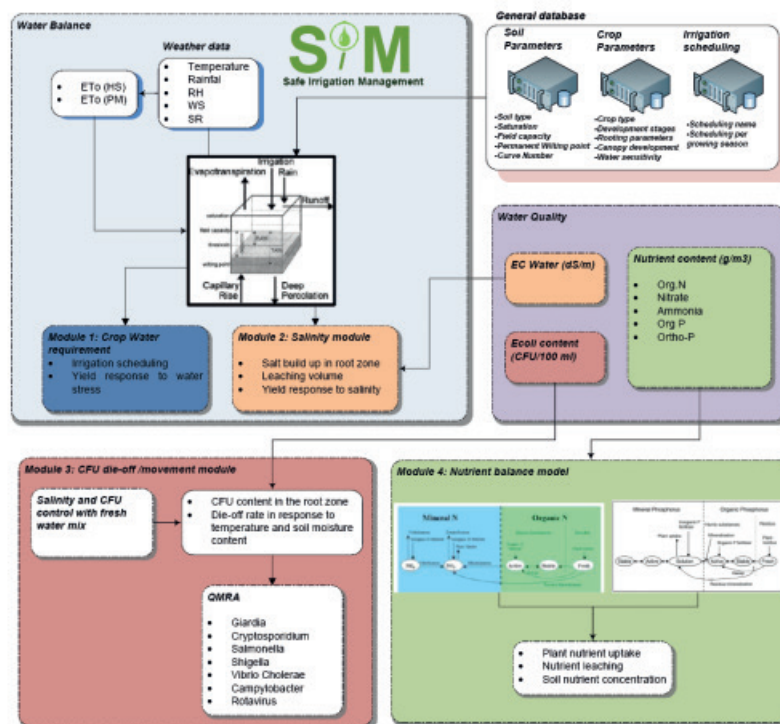
Ce modèle a été testé sur plusieurs cultures maraîchères (par exemple la tomate, la pomme de terre) et sur des grandes cultures (par exemple le blé, le maïs).

Description de la technologie

Le *Modèle d'Irrigation Sûr* (MIS) est un modèle du seau qui permet d'évaluer les besoins en eau des cultures en case de l'utilisation d'eau conventionnelle, des eaux usées traitées ou de mélanges d'eau. Ce modèle s'adapte à divers systèmes d'irrigation, différentes qualités d'eau, différents types de sols et variétés de cultures. Dans le cas des eaux usées traitées, deux paramètres principaux sont pris en compte : i) La salinité de l'eau et ii) La concentration d'*E. coli*.

Le modèle permet également d'évaluer et de contrôler le risque microbien.

Il est capable de simuler l'impact de l'irrigation sur les propriétés physiques des sols et sur le rendement annuel pour les cultures.



Les modules de Gestion de l'Irrigation Sûr (MIS)

Les caractéristiques qui rendent cette technologie adaptée aux contextes Egyptien, Tunisien et/ou Marocain et à l'utilisation des eaux usées traitées.

Ce modèle aide les agriculteurs et les décideurs à identifier les options relatives à une attribution et une gestion optimale de l'eau, y compris la sélection du mélange d'eau idéal. La capacité du modèle d'anticiper les conditions futures est très utile pour la projection des résultats des diverses stratégies possibles de gestion de l'irrigation.

Résultats obtenus par MADFORWATER en relation à cette technologie

Le MIS est en cours d'application dans le bassin de Souss-Massa au Maroc, pour optimiser la planification de l'irrigation et la tolérance à la salinité de certaines cultures en utilisant différentes qualités d'eau. Afin d'évaluer la performance du modèle, un essai préliminaire a été effectué.

La figure ci-dessous présente un calendrier d'irrigation. Le programme d'irrigation est définie par le minutage et par la quantité d'eau d'appliquer. L'irrigation est chronométrée d'une manière automatique. Une fois le minutage d'irrigation réglé, le volume d'eau peut être automatiquement appliqué en tant que : i) quantité d'eau fixe (mm) ; ii) retour au déficit hydrique fixe du sol (mm) ; iii) retour à l'épuisement fixe de l'humidité du



Un calendrier d'irrigation obtenu à partir du MIS

sol (% de la capacité de rétention d'eau du sol).

Les obstacles spécifiques concernant la mise en application de cette technologie avec des eaux usées traitées, en Egypte, en Tunisie et / ou au Maroc

- Difficulté d'obtenir les données de base requises
- Difficulté d'obtenir les données requises pour calibrer le modèle pour chaque pays
- L'utilisation des eaux usées est restreinte et n'est souvent autorisée que dans le cadre des expériences contrôlées

BACTÉRIES PROMOTRICES DE LA CROISSANCE DES PLANTES (BPCP) POUR AMÉLIORER LA RÉSISTANCE DES CULTURES AU STRESS HYDRIQUE ET À LA SALINITÉ

Types de cultures ciblées par cette technologie

Une grande collection de BPCP isolées à partir de la rhizosphère de plusieurs plantes-hôtes, à savoir le sorgho, la luzerne, l'arganier, l'olivier, le figuier et les agrumes récoltés dans les pays méditerranéens africains (MACs) a été construite et soumise à plusieurs tests de sélection. Les souches les plus performantes ont été sélectionnées pour des essais in-vivo sur des tomates et du blé dur, cultures d'intérêt dans les pays du MACs. Ces inocula de BPCP peuvent être appliquées à toutes les cultures afin d'améliorer leur croissance, leur productivité ainsi que leur tolérance et/ou résistance au stress.

Description de la technologie

Les BPCP peuvent favoriser la croissance des plantes dans des conditions de stress typique des environnements extrêmes, tels que la sécheresse et la salinité du sol, qui sont les principaux stress abiotiques affectant la productivité des cultures. Mais leur utilisation pour promouvoir la productivité des cultures est encore peu appliquée à grande échelle.

MADFORWATER développe et met en application des inocula de BPCP adaptés au site en tant que biofertilisants / biostimulants pour des cultures sélectionnées présentant un intérêt économique élevé pour les MACs. Les inocula sélectionnés non seulement favoriseraient les activités de croissance végétale, mais seront également bien adaptés et efficaces dans le contexte de la réutilisation des eaux usées traitées dans les terres arides et endommagées, caractéristiques des pays ciblés.



Montage expérimentale en serre pour tester les effets des bactéries promotrices de la croissance des plantes sur les plants de tomates cultivés sous différents régimes hydriques

Les caractéristiques qui rendent cette technologie adaptée aux contextes Egyptien, Tunisien et/ou Marocain et aux cultures irriguées avec des eaux usées traitées.

En plus de leurs effets liés à la biofertilisation (amélioration de l'absorption des nutriments) et au biocontrôle (production d'antimicrobiens et d'insecticides), les BPCP contribuent à la bioremédiation des micropolluants du sol et améliorent la résistance des cultures aux conditions climatiques extrêmes spécifiques de l'Afrique du Nord (salinité, sécheresse).

Résultats obtenus par MADFORWATER concernant cette technologie

Une large collection de BPCP a été mise en place à partir de différentes espèces de plantes herbacées et arboricoles collectées en Tunisie, au Maroc et en Egypte. Nous avons identifié les souches bactériennes les plus performantes et nous avons évalué leurs résistances aux stress osmotique et salin et leurs activités promotrices de la croissance des plantes, y compris l'activité de biocontrôle, à travers des essais in-vitro. Nous avons également confirmé in-vivo l'effet bénéfique des souches sélectionnées sur la croissance de la tomate et du blé dur, dans des conditions de culture en serre, en créant différentes conditions d'irrigation telles que l'utilisation des eaux usées traitées et l'induction artificielle du stress hydrique et salin. Nos résultats ont abouti à l'identification et la caractérisation de nouvelles BPCP qui pourraient être prometteuses pour la mise en place de biofertilisants adaptés aux conditions climatiques typiques des pays de l'Afrique du Nord.

Les obstacles spécifiques concernant la mise en application de cette technologie avec des eaux usées traitées, en Egypte, en Tunisie et / ou au Maroc

- Faible vulgarisation des technologies et manque de production à grande échelle en Egypte, en Tunisie et au Maroc.
- Manque de sensibilisation de la communauté agricole aux propriétés des biofertilisants
- Manque de réglementation et de normes pour la production et la commercialisation des biofertilisants
- Un règlement précis des problèmes éthiques et de sécurité est nécessaire.

AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES SYSTÈMES TRADITIONNELS D'IRRIGATION DE SURFACE EN EGYPTE

Types de cultures ciblées par cette technologie

Grandes cultures

Technologie utilisée essentiellement en Egypte pour l'irrigation de ces cultures

Dans le delta du Nil, en Égypte, des canaux ouverts (appelés Mesqas) acheminent l'eau d'irrigation jusqu'aux fossés quaternaires des exploitations appelées Marwas, qui à leurs tours alimentent les champs en eau. L'eau de drainage qui en résulte irrigue soit les champs en aval, soit mélangée avec de l'eau douce pour ensuite réintégrer le système de distribution. Cela engendre une très grande efficacité au niveau du bassin au détriment de la qualité de l'eau rejetée dans les canaux de drainage.

Description de la technologie

L'idée essentielle de cette technologie consiste à transformer les Mesqas et les Marwas en canaux sous pression optimisés, équipés de bornes-fontaines qui alimentent en eau les tuyaux à vannes en aval munies de buses calibrées et les sillons des champs.

Ce système de distribution permet de maintenir à long terme l'efficacité de la distribution de l'eau, de réduire la quantité d'eau de drainage et donc d'améliorer la qualité de l'eau au profit d'une quantité plus importante d'eau douce disponible en amont.

Caractéristiques qui rendent cette technologie adaptée au contexte égyptien

L'application de cette technologie ne nécessite pas un pré-traitement de l'eau. Dans le contexte égyptien, cette technologie s'applique à la fois à l'eau d'irrigation et à l'eau de drainage.

Résultats obtenus par MADFORWATER concernant cette technologie

Pour minimiser les coûts d'énergie et de maintenance, la conception du système localisé a été adaptée afin de fonctionner à basse pression (environ 0,5 bar). Le taux élevé de décharge des buses proposées réduit considérablement le risque d'encrassement et de colmatage des émetteurs ; problèmes fréquents quand l'irrigation est effectuée avec de l'eau de mauvaise qualité. Une attention particulière a été accordée à l'intégration des membranes élastomères dans la buse, de manière à développer des émetteurs dont la compensation de pression est caractérisée par une haute uniformité de décharge le long du tuyau.



Pression (Bars)	Décharge (L/s)
0.15	0.75
0.2	0.8
0.4	0.84
0.5	0.89

Tuyau à vannes et les buses calibrées en détail

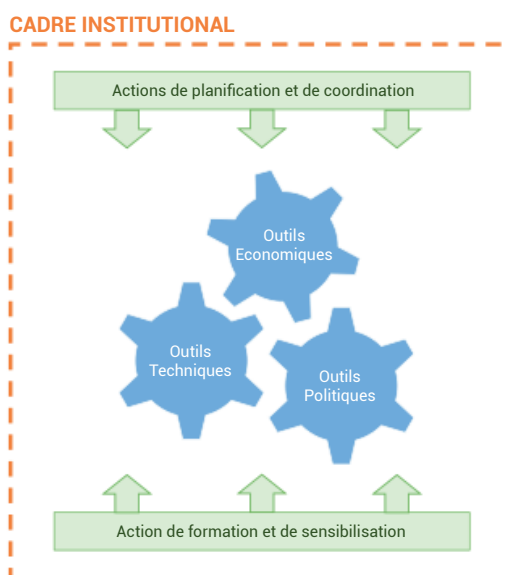
Les obstacles spécifiques concernant l'application de cette technologie en Egypte

Le principal obstacle est au niveau des agriculteurs. C'est difficile qu'ils acceptent d'adapter leur approche et d'utiliser une nouvelle technologie qui remplacerait un système d'inondation ancien et consolidé.

Utilisation d'instruments économiques dans la gestion de l'eau en Egypte, au Maroc et en Tunisie

Le projet MADFORWATER a particulièrement consacré une partie de ses travaux à l'évaluation de l'utilisation des instruments économiques dans la gestion de l'eau en Egypte, au Maroc et en Tunisie. L'analyse a démontré que les pays cibles ont réalisé des progrès considérables dans la mise en œuvre des principes de la gestion intégrée des ressources hydriques. Cependant, l'analyse réalisée révèle une grande marge d'amélioration possible en termes d'instruments et de politiques économiques hydriques pour assurer la durabilité à long terme des ressources hydriques dans les pays africains méditerranéens que couvre le projet MADFORWATER. L'on remarque, en particulier, une faible mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources hydrauliques par rapport aux principes économiques – tarifs hydriques bas, un taux bas de recouvrement des coûts et des niveaux élevés de subvention. Une meilleure définition des droits sur l'eau, associée au développement des marchés de l'eau, contribuerait également de manière significative aux retraits de contrôle et à une meilleure allocation des ressources. De plus, l'augmentation de l'efficacité de l'eau agricole s'avère essentielle dans une région où l'agriculture représente le principal consommateur en eau. Les facteurs institutionnels semblent également très pertinents. En particulier, la responsabilisation des décideurs et l'établissement d'accords régionaux capables d'améliorer la gestion des eaux transfrontalières pourraient s'avérer très utiles pour faire face à la pénurie d'eau. En outre, exploiter davantage le potentiel de dessalement et la réutilisation des eaux usées traitées dans la région pourrait constituer un outil majeur pour répondre à la demande croissante.

Enfin, il devrait être pris en compte le fait qu'aucun instrument ne fonctionne seul. Le fonctionnement des instruments économiques dépend généralement d'un large éventail de facteurs tels que leur combinaison avec d'autres outils réglementaires et techniques, ainsi que d'autres éléments horizontaux fournissant une coordination et un soutien - par exemple des organes et stratégies de planification et de coordination, des activités de sensibilisation, ou la formation adéquate des ressources humaines.



Principaux instruments pour la gestion de l'eau agricole.

Source: Propre élaboration basée sur le Plan Bleu - Partenariat mondial de l'eau (GWP) (2012).

Prochains événements de diffusion des résultats du projet

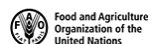
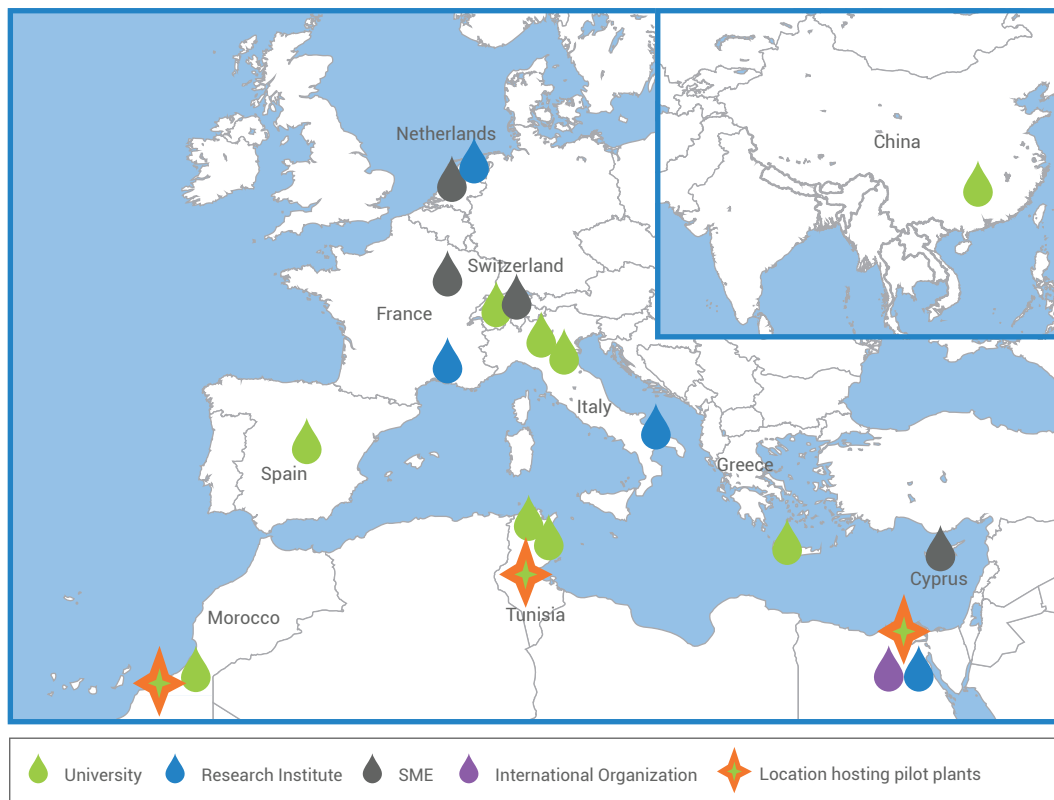
CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LA GESTION DE LA PÉNURIE D'EAU - AGADIR, MAROC

L'IAV Hassan II, partenaire Marocain du projet MADFORWATER, organise une Conférence internationale sur le thème «Gestion de la pénurie de l'eau au niveau des bassins versant: innovations et développement durable». La conférence se tiendra à Agadir (Maroc) du 4 au 6 octobre 2018. La conférence vise à rassembler des scientifiques et des praticiens du secteur de l'eau pour informer, échanger et sensibiliser sur les dernières connaissances et innovations dans les zones les plus touchées par la pénurie d'eau. Elle mettra en évidence les stratégies européennes et des pays du sud de la Méditerranée concernant la gestion des ressources hydriques. Parmi les autres objectifs de la conférence une mise au point sur le développement des récentes innovations dans le domaine du recyclage des eaux usées, l'utilisation des eaux saumâtres, le dessalement de l'eau de mer, la rationalisation de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. Les participants examineront également les solutions adaptées aux conditions locales et s'inscrivant dans une perspective de développement durable.

Cette conférence est enfin une occasion importante pour la présentation des résultats des projets de recherche MADFORWATER, WASA et GLOBAQUA. Cette conférence sera présidée par le Prof. Redouane Choukr-Allah. La date limite pour soumettre les résumés des communications est le 15 août, pour les présentations orales et par affiches. La conférence comprendra un atelier consacré à la présentation des technologies innovantes développées par MADFORWATER pour le traitement des eaux usées et l'irrigation.

Le consortium de MADFORWATER

Le consortium MADFORWATER se compose de 18 partenaires géographiquement répartis autour de la mer Méditerranée, notamment dans 7 pays européens, 3 pays méditerranéens africains et la Chine. Il comprend 9 universités, 4 centres de recherche, une organisation internationale à but non lucratif (FAO), 1 consultant et expert en matière de marketing, de développement de plans d'affaires et de gestion de l'innovation et 3 experts dans les domaines du traitement des eaux usées et l'irrigation. Les partenaires de MADFORWATER possèdent une expertise multidisciplinaire couvrant les domaines comme le traitement des eaux usées, l'irrigation, l'analyse du cycle de vie des technologies, l'analyse coûts-bénéfices des technologies, l'analyse des vulnérabilités liées à l'eau, la participation des parties prenantes, La gestion intégrée de l'eau, le renforcement des capacités et la conception des plans d'affaires.



Pour plus d'informations sur le projet, visitez le site Web de MADFORWATER à l'adresse: www.madforwater.eu

Suivez MADFORWATER sur



Si vous ne souhaitez pas recevoir de nouvelles mises à jour ou bulletins d'information sur le projet MADFORWATER, veuillez écrire à l'adresse électronique suivante: info@madforwater.eu, en spécifiant "désinscrire MADFORWATER" dans le sujet.

La communication ne reflète que le point de vue de l'auteur et l'EASME n'est pas responsable de l'utilisation éventuelle des informations qu'elle contient.



Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 688320