Innovation Annuelle sur l'Eau

VOL. 02

Mars 2026

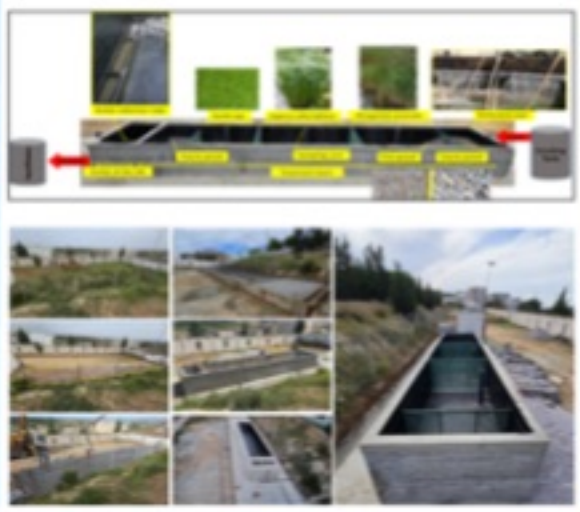
CIRQUA - BULLETIN D'INFORMATION

4 Sites Pilotes | 4 Pays | 140 m2 Totale de CW | Élimination Pathogènes

Prototype CW de DUTH



Prototype CW de ABC



CW amélioré de CIIMAR



Prototype CW d'ASU



Figure 1: Les quatre sites pilotes de zones humides construites de CIRQUA à travers la Méditerranée.

Waterwise Futures : Approches intégrées à l'échelle locale pour améliorer l'efficacité de la réutilisation de l'eau et la fertilisation durable des sols à partir des nutriments récupérés des eaux usées

Nos Quatre Sites Pilotes :
CIRQUA a conçu, construit et exploite quatre systèmes de démonstration de CW à travers la Grèce, la Tunisie, le Portugal et l'Égypte, intégrant chacun des zones humides à écoulement souterrain horizontal avec des unités de nanofiltration et des modules photocatalytiques.

À propos de CIRQUA : Le projet CIRQUA (Approches intégrées à l'échelle locale pour améliorer l'efficacité de la réutilisation de l'eau et la fertilisation durable des sols à partir des nutriments récupérés des eaux usées) est une initiative financée par PRIMA qui développe des solutions décentralisées de traitement des eaux usées fondées sur la nature à travers la Méditerranée. Grâce à des prototypes innovants de zones humides construites (CW) améliorés avec des unités de nanofiltration et des modules photocatalytiques, CIRQUA démontre que les eaux usées traitées peuvent être réutilisées en toute sécurité pour l'agriculture tout en récupérant des nutriments pour la fertilisation des sols.

CIRQUA Waterwise Futures

PRIMA PARTNERSHIP FOR RESEARCH AND INNOVATION IN THE MEDITERRANEAN AREA

This project is part of the PRIMA programme supported by the European Union

PROFILS DES SITES PILOTES

❶ Site Pilote DUTH - Xanthi, Grèce

Université Démocrite de Thrace • 20 m²

CW à écoulement souterrain horizontal avec quatre compartiments en acier inoxydable plantés de Typha et Caltha. Équipé d'un nanofiltre ZrFu/Argile/Ca-Alginate et d'un module photocatalytique (15 tubes en verre revêtus de TiO2). A obtenu l'élimination complète des entérocoques/coliformes, une réduction de l'ADN de 5,7 fois, et l'élimination de la toxicité pour le poisson zèbre.

❷ Site Pilote ABC - Sidi Thabet, Tunisie

Institut Supérieur de Biotechnologie • 20 m²

CW à base de béton avec Phragmites australis, Cyperus alternifolius et Azolla spp. Filtre à sable avec matériau nanofiltre et module photocatalytique de 400 L. Résultats : élimination de 99 % des pathogènes ; Vibrio cholerae éliminé. Géré par une Unité de Contrôle Industriel Intelligente basée sur Raspberry Pi/Arduino (SICU-1).

❸ Site Pilote CIIMAR - Ponte de Lima, Portugal

Paço de Calheiros• 40 m²

Amélioration d'un CW existant alimenté par gravité (opérationnel depuis 15 ans, zéro énergie). Comprend Canna flaccida, Zantedeschia aethiopica et C. indica. CIRQUA a ajouté un nanofiltre UiO-66/Argile/Ca-Alginate et un module photocatalytique. Automatisé via PLC avec IHM. Les tests d'écotoxicité ont confirmé une réduction significative de la toxicité.

❹ Site Pilote ASU - Gizeh, Égypte

Station d'Épuration de Zenin • 60 m² (3 cellules × 20)

Le plus grand pilote CIRQUA : trois cellules CW parallèles (10x2m) avec des substrats de gravier calibré. Unité de nanofiltration et module photocatalytique UV (~365 nm). Automatisation Siemens S7-1200 PLC. Réduction améliorée des kystes de protozoaires (Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba).

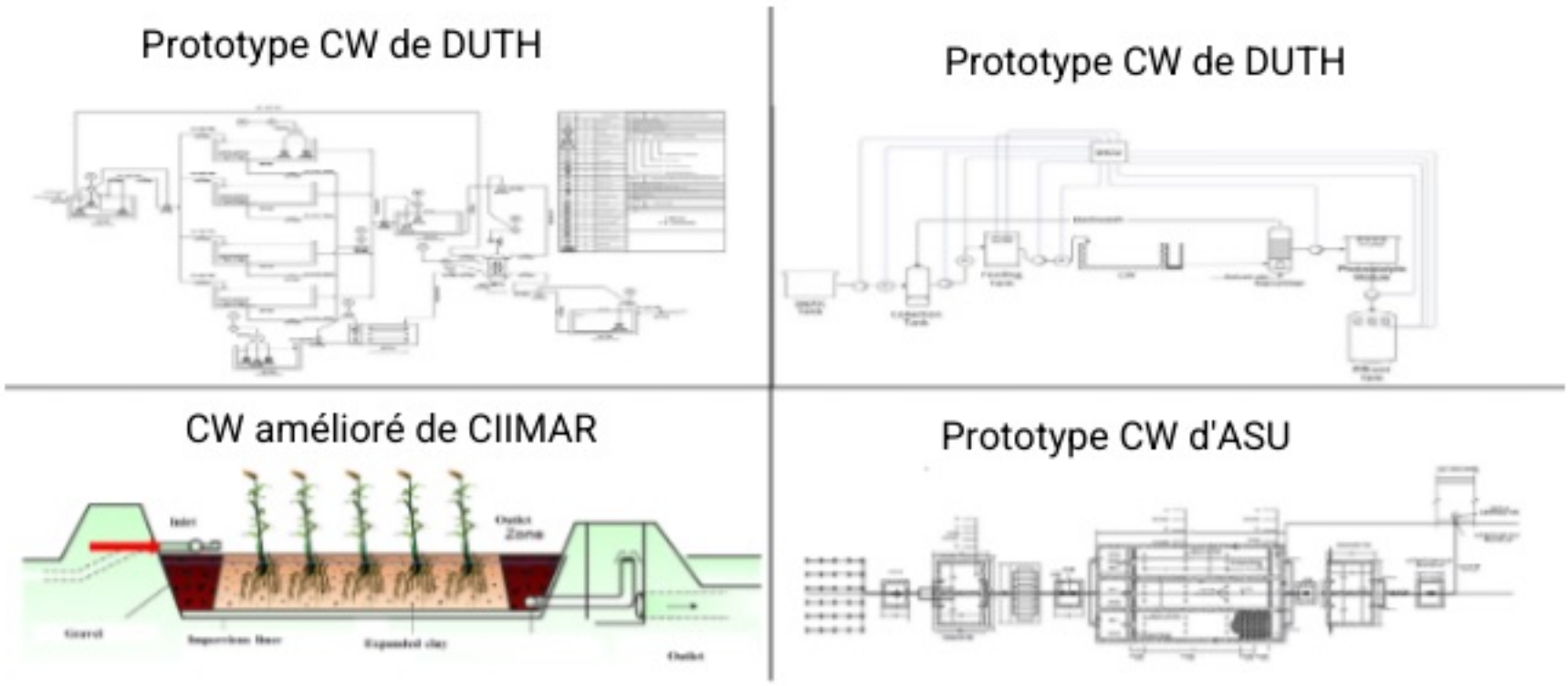


Figure 2: Conceptions du système d'automatisation pour les quatre prototypes CW de CIRQUA.

RÉSULTATS CLÉS & INNOVATIONS

Faits Marquants des Performances de Traitement

Paramètre	Performance	Importance
Élimination des orthophosphates	**92-99%**	Majorité des prototypes CW
Métaux Lourds	**Inférieur à la Directive de l'UE**	Conforme à la Directive sur l'Eau Potable 2020/2184
Élimination des pathogènes	**99%**	En dessous des limites de seuil nationales pour la réutilisation de l'eau
Réduction de l'ADN résiduel	**5,7 fois**	Obtenu grâce au module photocatalytique
Micropolluants	**Élimination efficace**	Y compris pesticides et antibiotiques
Toxicité pour le poisson zèbre	**Létale -> Aucun effet**	De l'affluent à l'effluent PhC (DUTH)

Unités de Nanofiltration Avancées :
Chaque pilote intègre un nanofiltre chargé de composites de réseaux métallo-organiques (MOFCs) ZrFu/Argile/Ca-Alginate et UiO-66/Argile/Ca-Alginate. Synthétisés à partir de biochar de bambou, d'argile bentonite et d'alginate de calcium, ces matériaux réduisent efficacement les matières en suspension, les orthophosphates, le phosphore total et les métaux lourds.

Modules Photocatalytiques
L'étape finale de traitement utilise des modules photocatalytiques à base de TiO2 sous irradiation UV. L'oxyde de titane à phase mixte (P-25, anatase/rutile 80/20 %) a été identifié comme le photocatalyseur le plus efficace. Les modules réduisent l'ADN résiduel, éliminent les pathogènes et retirent les micropolluants, y compris les pesticides et les antibiotiques, garantissant que l'eau traitée répond aux normes de qualité pour la réutilisation agricole.

Automatisation Intelligente & Économie Circulaire

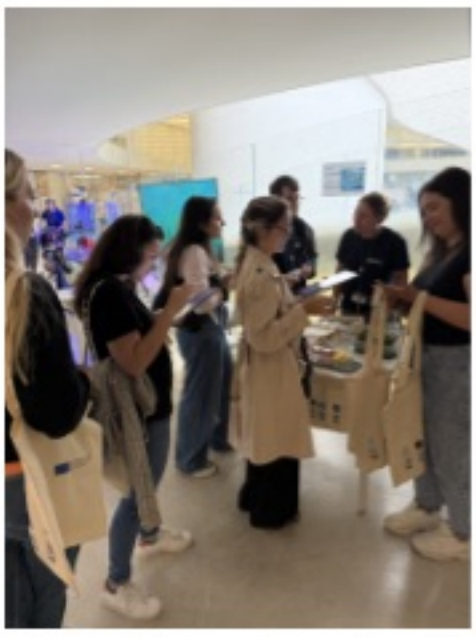
Tous les sites pilotes disposent d'une surveillance en temps réel du pH, de la conductivité, de l'oxygène dissous, de la turbidité, de la température et du débit via des API ou des Unités de Contrôle Industriel Intelligentes personnalisées - permettant le fonctionnement à distance et l'optimisation des processus. Au-delà du traitement de l'eau, CIRQUA explore les composites MOF comme engrais nanostructurés avec une capacité de libération lente des nutriments. Des tests d'écotoxicité avec Daphnia magna, Danio rerio et des plantes ont confirmé la biocompatibilité de l'eau traitée pour une réutilisation agricole en toute sécurité.

Faits Marquants et Événements

CIRQUA a débordé d'activité, favorisant la collaboration et le partage des connaissances à travers la Méditerranée.

Forte Présence de CIRQUA à la Conférence Agrown: Des membres clés du consortium CIRQUA ont mené une discussion cruciale à la Conférence Agrown, en se concentrant sur le sujet très pertinent de la "Réutilisation de l'Eau et Agriculture de Précision".







Promotion de la Gestion Durable de l'Eau :L'événement a permis un engagement significatif avec la communauté, prouvant une fois de plus que l'implication du public est essentielle à un avenir durable.

CIRQUA s'internationalise : Notre membre d'équipe Cristina Calheiros s'est rendue à Maputo, au Mozambique, pour partager le message du projet Eau de CIRQUA avec les étudiants du Lycée Gustave Eiffel. S'engager avec de jeunes esprits à travers le monde a fait de cette mission éducative une expérience incroyablement enrichissante pour notre équipe.





PERSPECTIVES D'AVENIR

Prochaines étapes : mise à l'échelle de la technologie CW à l'échelle de démonstration ; évaluation des rendements des cultures avec des engrais nanostructurés dérivés de la biomasse ; achèvement des analyses de cycle de vie et technico-économiques ; expansion des sciences participatives via les WaterWatchers et Soil Guardians ; et poursuite de la diffusion dans tous les pays partenaires.

COMMUNICATION & VISUALISATION DES DONNÉES

SCAN ME SCAN ME SCAN ME SCAN ME