

Septembre 2023

Sommaire

Introduction

1. Méthodologies
2. Résultats du suivi du traitement des eaux usées
3. Résultats du suivi de la réutilisation des eaux usées traitées en l'irrigation
 - 3.1 Courgette
 - 3.2 Laitue

Editeurs:

Delia Ventura delia.ventura@unict.it

Giuseppe Cirelli giuseppe.cirelli@unict.it

Feliciano Licciardello

feliciano.licciardello@unict.it

UNICT

Olfa Mahjoub olfama@gmail.com

INRGREF

**“ Traitée par la NATURE pour
Préserver la NATURE ”**

Introduction

Cette Newsletter porte sur les résultats des activités de surveillance des pilotes de démonstration des filtres plantés à macrophytes pour le traitement des eaux usées pour leur réutilisation en agriculture. Les pilotes ont été installés en Italie et en Tunisie dans le cadre du projet TRESOR “*Traitement des eaux usées et des boues résiduaires par filtres et usage agricole durable*”. Le projet est financé par l’Union Européenne dans le cadre de l’Instrument Européen de Voisinage (IEV) et de la coopération transfrontalière Italie-Tunisie 2014-2020.

Conformément aux objectifs du projet notamment le Groupe de Tâches lié à la conception et à la mise en place des pilotes de traitement (GT3) et d’irrigation (GT4) les partenaires tunisiens (INRGREF) et italiens (UNICT et la municipalité de SCICLI) ont conduit les activités de surveillance respectivement sur: 1) les pilotes de traitement des eaux usées traitées afin d’utiliser leurs produits pour l’irrigation et plus tard pour la fertilisation des sols et des cultures; 2) sur les stations de démonstration de micro-irrigation avec les eaux usées traitées.

En ce qui concerne les détails du schéma de construction et de fonctionnement des installations pilotes, veuillez bien vous référer à les newsletter n°2 pour l’Italie et n°3 pour la Tunisie.



Delia Ventura¹, Feliciano Licciardello¹, Mirco Milani¹, Alessia Marzo¹, Vincenzo Scavera¹, Salvo Barresi¹, Antonio Carlo Barbera¹, Olfa Mahjoub², Giuseppe Luigi Cirelli¹

¹Université de Catane, Département de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement (Di3A) - UNICT, Italie

²Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêt - INRGREF, Tunisie

1. Méthodologies

Le fonctionnement du pilote de phyto-épuration hybride de Scicli a été suivi à travers un échantillonnage et des analyses visant à déterminer les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques des eaux usées avant au cours et après traitement. Les échantillons ont été prélevés tous les deux mois et les paramètres physico-chimiques suivants ont été déterminés à l'aide des méthodes IRSA-CNR : matières en suspension totales (MES), DBO₅, DCO, azote ammoniacal (N-NH₄), azote nitreux (N-NO₂), azote nitrique (N-NO₃), azote organique (N-Norg), azote total (N-Ntot), orthophosphates (P-PO₄) et phosphore total. La détermination d'*Escherichia coli* a été effectuée à l'aide de la méthode du filtre à membrane, conformément aux méthodes normalisées d'analyse de l'eau. Les résultats analytiques des eaux usées sortant de la station à filtres plantés ont été comparés aux limites imposées par la réglementation relative aux rejets dans les masses d'eau de surface (décret législatif 152/2006), par la réglementation relative à la réutilisation des eaux usées (décret ministériel 185/2003) et par le règlement (UE) 2020/741 du Parlement européen et du Conseil du 25 mai 2020 établissant des exigences minimales pour la réutilisation de l'eau.

En Tunisie, étant donné que les filtres ont été implantés un peu plus tard qu'en Italie, les prélèvements ont été effectués toutes les deux semaines sur les sorties des stations d'épuration SE₃ et SE₄ qui alimentent le bassin Souhil, ainsi que le bassin Souhil qui alimente le pilote de traitement par macrophytes. Ensuite, les prélèvements au niveau du pilote ont été effectués en 10 points de contrôle depuis les bassins d'alimentation jusqu'à la sortie des eaux traitées utilisées pour l'irrigation. Les paramètres analysés sont mesurés sur un échantillon ponctuel. Ils sont au nombre de 19 paramètres à savoir: DBO₅, DCO, MES, NTK, N-NH₄, Phosphore total, Cadmium, Chrome VI, Cuivre, Cobalt, Nickel, Manganèse, Plomb, Zinc, Mercure). Les paramètres microbiologiques à déterminer sont : Coliformes fécaux, *E. Coli*, Salmonelle, Œufs d'Helminthes. Toutes les méthodes sont conformes aux normes NF, ISO ou OMS. Selon la réglementation tunisienne, la norme NT 106.03 (1989), les EUT doivent répondre à des valeurs limites pour être réutilisables en agriculture. La norme est destinée à une irrigation agricole restrictive.

2. Résultats du suivi du traitement des eaux usées

En Italie, les résultats des analyses effectuées ont été élaborés sur la base des échantillons des eaux usées prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque module de traitement, nommés ci-dessous: unité H-SSF1 entrée, V-SSF sortie et H-SSF2 sortie (voir aussi Figure 1 pour le schéma des usines de démonstration).

En Tunisie, les points d'échantillonnage sont comme suit (Figure 2) : 1- Bassin de stockage et arrivée d'EUT au pilote, 2- Regard R1 (entrée filtre verticaux), 3- Filtre planté vertical (FPV)₁, 4- FPV₂, 5- Regard R2 (sortie des FPV), 6- Filtre horizontal, 7- Regard R3 (sortie FH), 8- Sortie d'eau de la conduite du bassin de stockage, 9- parcelle d'essai (irrigation). En plus le point 10- Bassin de stockage de la station oued souhil (ancien projet: eau secondaire) a été pris pour comparaison.



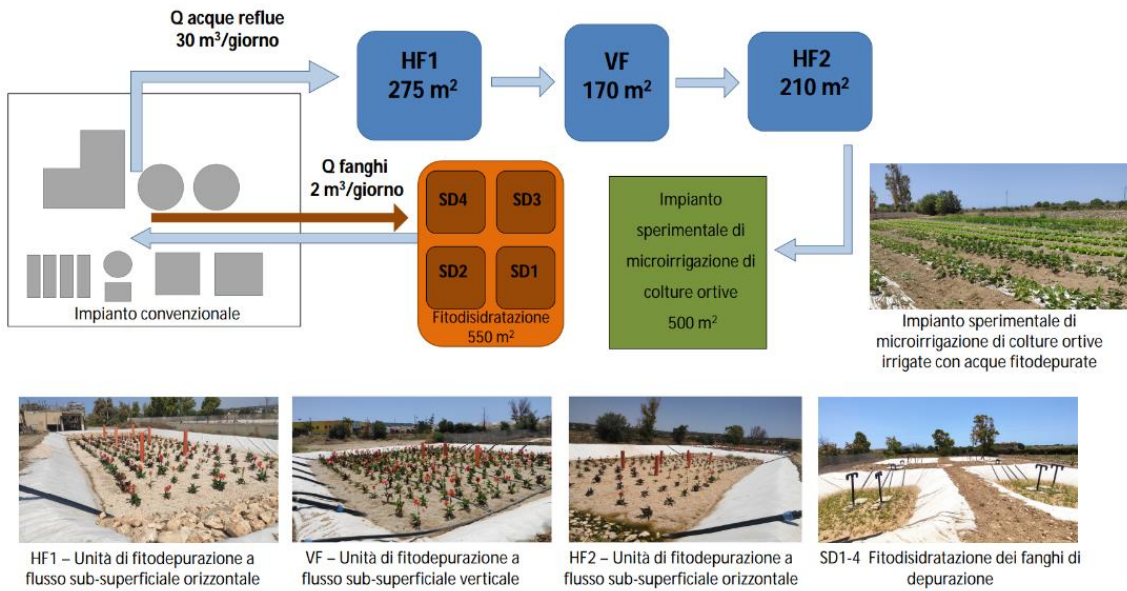


Figure 1. Systèmes de phyto-épuration pour le traitement des eaux usées et des boues et leur réutilisation durable en agriculture C. da Piano Conti / Cammarella - Scicli (RG)

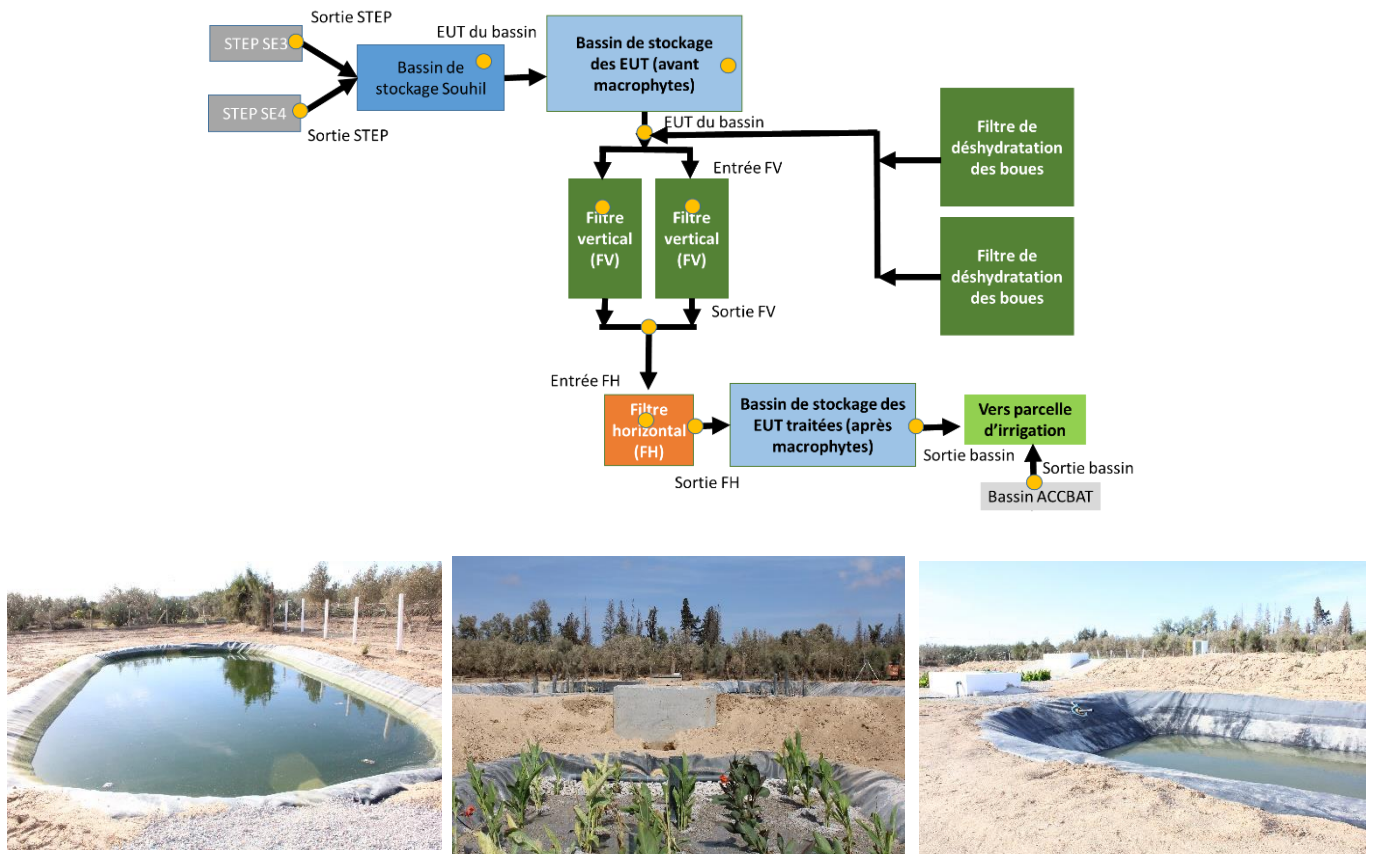


Figure 2. Systèmes de phyto-épuration des eaux usées à Souhil, Nabeul, Tunisie et aperçu sur les points d'échantillonnage

En Italie, l'analyse des résultats des eaux usées traitées par pilote révèle l'importante capacité "tampon"

de ce système, qui a été en mesure d'atténuer les fortes fluctuations des concentrations de MES à l'entrée tout en maintenant leur concentration dans l'effluent à un faible niveau. En fait, les concentrations de MES à l'entrée de la station à filtres plantés variaient entre environ 8 et 89 mg/L (avec une moyenne de 39 mg/L et un écart-type ± 31), alors que dès l'effluent de la première étape de traitement (H-SSF1), les concentrations de MES étaient nettement réduites, enregistrant des valeurs moyennes d'environ 8 mg/L (écart-type ± 5 mg/L) qui ont été ramenées à seulement 4 mg/L (écart-type ± 4 mg/L) à la sortie de la dernière unité de H-SSF2. L'efficacité globale de l'élimination de la MES était d'environ 85 % avec un écart-type de seulement 23 % (figure 3). Cette efficacité a permis d'obtenir un effluent dont la concentration en MES est toujours conforme à la limite imposée par le décret législatif 152/2006 pour le rejet dans les masses d'eau de surface, alors que seulement 7 % des échantillons prélevés à la sortie de la station à filtres plantés présentaient une concentration en MES supérieure à la limite pour la réutilisation à des fins d'irrigation (Tableau 1).

En ce qui concerne la matière organique, la station à filtres plantés a également montré une capacité tampon significative associée à d'excellentes efficacités d'élimination avec des pourcentages moyens d'abattement d'environ 83% pour la DBO5 et 79% pour la DCO (Figure 3), malgré la variabilité considérable des concentrations mises en évidence dans l'effluent entrant, allant de 16 à 128 mg/L pour la DBO5 et de 42 à 197 mg/L pour la DCO. Comme le montre la figure 3, des réductions évidentes de la matière organique ont déjà été détectées à la sortie du lit H-SSF1, avec des pourcentages moyens d'environ 49 % pour la DBO5 et 47 % pour la DCO.

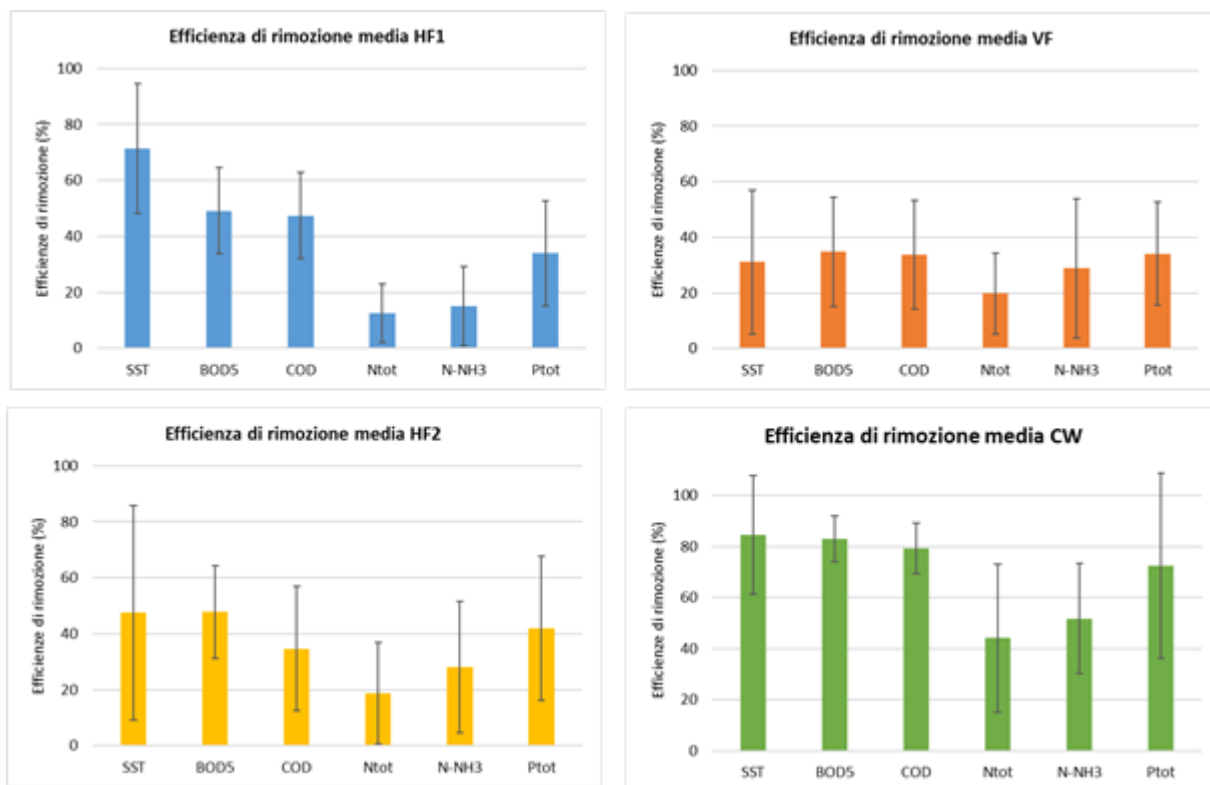


Figure 3. Efficacité moyenne de l'élimination (SST = MES, BOD5 = DBO5, COD = DCO)

Les valeurs des concentrations de DCO dans l'effluent se sont avérées compatibles avec les normes de qualité dictées par le décret législatif 152/2006, pour le déversement dans les masses d'eau de surface, ainsi qu'avec les normes plus restrictives dictées par le décret ministériel 185/2003, pour la réutilisation des eaux usées à des fins d'irrigation. Le paramètre DBO5 s'est avéré supérieur aux limites imposées par

le décret législatif 152/2006 et le décret ministériel 185/2003 dans 2 et 3 échantillons, prélevés au cours de la première phase de fonctionnement de l'usine de phyto-épuration.

À l'entrée de la station d'épuration, les concentrations moyennes d'ammoniac, d'azote total et de phosphore total étaient respectivement de 21,4, 21,5 et 2,5 mg/L. Les efficacités d'élimination étaient en moyenne de 51 %. Les efficacités d'élimination étaient en moyenne de 51 % pour l'azote ammoniacal, 44 % pour l'azote total et 72 % pour le Ptot, avec des concentrations moyennes dans l'effluent de H-SSF2 de 10, 12 et 0,7 mg/L pour N-NH4, Ntot et Ptot respectivement. Il sera difficile d'atteindre des concentrations dans l'effluent inférieures à ces valeurs, étant donné l'impossibilité d'éliminer ces paramètres, par le biais de systèmes d'épuration naturels, au-delà d'une certaine concentration "de fond".

Tableau 1. Pourcentage d'échantillons prélevés à la sortie de la station d'épuration prototypique de Scicli qui respectent les limites imposées par le décret législatif 152/2006, le décret ministériel 185/2003 et le règlement de l'UE n° 2020/741.

paramètres	Limite D.Lgs. 152/2006(1)	Limite D.M. 185/2003	Règlement UE n. 2020/741	Phytodépuration Plante		
				% échantillons dans les limites D.Lgs.152/2006	% échantillons dans les limites D.M.185/2003	échantillons dans les limites Règlement UE n. 2020/741
MES	35 mg/L	10 mg/L	70 mg/L5, B,C,D	100	98	100
DBO5	25 mg/L	20 mg/L	25 mg/LB,C,D	94	93	94
DCO	125 mg/L	100 mg/L	-	100	100	-
Ntot	15 mg/L (2)	35 mg/L	-	75	100	-
Ptot	2 mg/L (2)	10 mg/L	-	88	100	-
E. coli	5.000 UFC/100 mL3	50 UFC/100 mL	100 UFC/100 mLB	73	67	47
		200 UFC/100 mL4	1.000 UFC/100 mL C			73
			10.000 UFC/100 mL D			100

1 Les analyses des eaux provenant des stations à filtres plantés et des stations de lagunage doivent être effectuées sur des échantillons filtrés ; 2 limite valable uniquement pour les zones sensibles et pour les E.A. >10 000 ; 3 valeur recommandée ; 4 valeur maximale ; 5 35 mg/L pour AE>10.000 ; B, C et D Classe de qualité de l'eau affinée ; Classe de qualité des eaux raffinées B : cultures vivrières destinées à être consommées crues, dont la partie comestible est produite au-dessus du niveau du sol et n'est pas en contact direct avec l'eau raffinée, et irriguées par n'importe quelle méthode d'irrigation ; Classe de qualité de l'eau raffinée C : cultures vivrières destinées à être consommées crues, dont la partie comestible est produite au-dessus du niveau du sol et n'est pas en contact direct avec des eaux raffinées, et irriguées au moyen d'une méthode d'irrigation au goutte-à-goutte ; Classe de qualité des eaux raffinées D : Classe de qualité de l'eau raffinée D : cultures industrielles, énergétiques et semencières, irriguées par n'importe quelle méthode d'irrigation.

En Tunisie, les analyses des eaux en sorties des STEP et dans le bassin de Souhil montre que le mélange des deux effluents dans le bassin de Souhil donne une qualité variable : meilleure en MES et autres nutriments mais plus élevée notamment en DCO car le bassin devrait contenir encore des résidus (manière organique dissoute). Cette qualité est à comparer avec celle des eaux usées qui sont acheminée du même bassin vers dans le bassin d'alimentation du pilote de traitement. La station SE3 fonctionne en sur capacité donc elle a une qualité moindre par rapport à SE4. L'entrée du filtre est donc variable. Les teneurs en nutriments ne sont pas réglementées, donc les teneurs restent acceptables entre 24 et 50 mg/l pour toutes les formes pour un usage agricole.

Pour les métaux, en général les teneurs sont acceptables car elles sont inférieures aux normes et

inférieures mêmes aux limites de détection. La qualité microbiologique reste une contrainte car elle reste élevée (log 7 et log8) et cela montre une défaillance dans le système de traitement dans les deux STEPs qui se répercute sur la qualité dans le bassin Souhil.

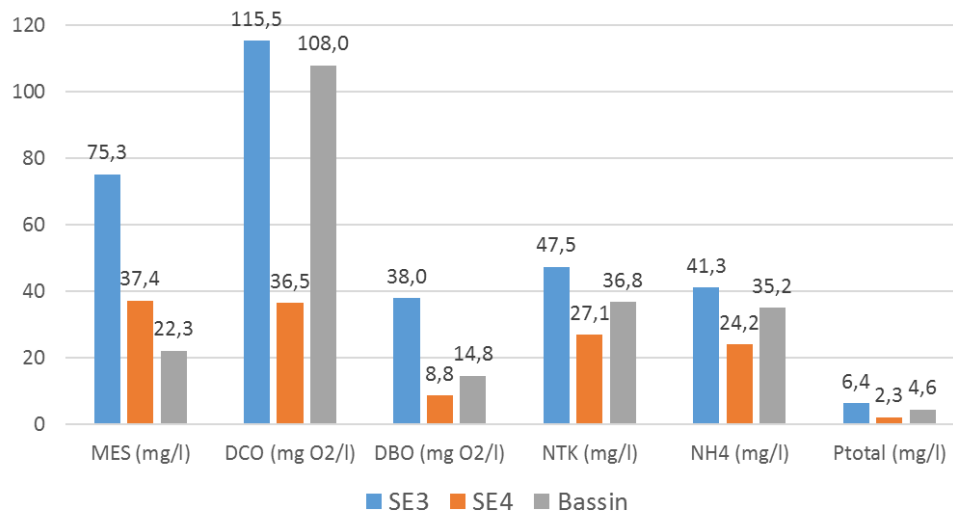


Figure 4. Qualité physico-chimique et biologique moyenne (moyennes de 4 répétitions) des EUT secondaires dans les SETPs et le bassin Souhil qui alimentent le pilote de traitement

Après traitement par filtres plantés, nous constatons que les efficacités sont élevées au niveau de chaque niveau de filtres, les verticaux et l'horizontal avec des taux entre 60 et plus que 90%. Une exception notée pour les concentrations de l'azote qui ont augmenté dans le filtre horizontal. En effet, il faut tenir compte que les plantes dans les filtres plantés ne sont pas bien développées et qu'il y a eu quelques jours d'interruptions d'alimentation à cause de perturbations d'approvisionnement par le GDA. Le suivi doit couvrir d'autres paramètres notamment hydrauliques et de faire plus fréquemment.

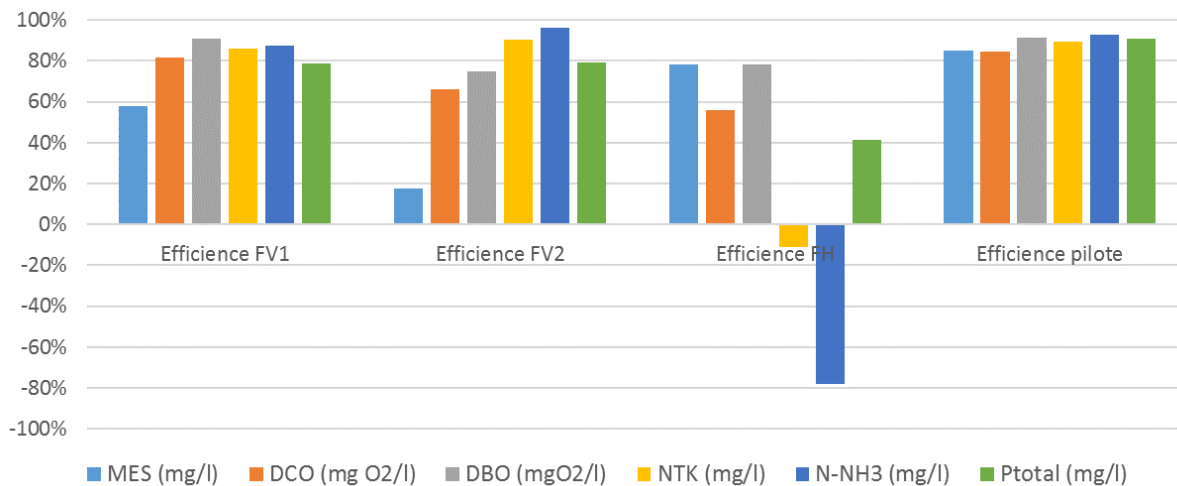


Figure 5. Efficience moyenne (4 répétitions) des filtres verticaux et horizontal et efficience du pilote de traitement des eaux traitées secondaires en Tunisie

3. Résultats du suivi de la réutilisation des eaux usées traitées en l'irrigation

3.1 Courgette

Un effet significatif du type d'eau d'irrigation (facteur : Eau) sur le rendement et le poids des fruits a été observé (Tableau 2). Les plantes irriguées avec de l'eau phyto ont montré des rendements plus élevés que celles irriguées avec de l'eau conventionnelle (Figure 6A). En particulier, un poids plus élevé des fruits a été observé dans les plantes irriguées avec de l'eau phyto-épurée (Figure 6B). Aucune modification significative des caractéristiques des plantes n'a été observée, à l'exception du diamètre des tiges et du poids des racines (Tableau 2).

Tableau 2. Analyse multifactorielle de la variance des paramètres mesurés pour la courgette.

	ANOVA		
	Eau	Ligne d'irrigation	Eau Ligne d'irrigation*
Rendement (kg m ⁻²)	*	n.s.	n.s.
Frutti per pianta	n.s.	n.s.	n.s.
Poids des Fruit (g)	*	n.s.	n.s.
Poids de la plante fraîche (g)	n.s.	n.s.	n.s.
N° feuilles	n.s.	n.s.	n.s.
Diamètre du tambour (mm)	n.s.	*	**
Hauteur de la plante (cm)	n.s.	n.s.	n.s.
Matière sèche feuilles (%)	n.s.	n.s.	n.s.
Matière sèche tige (%)	n.s.	n.s.	n.s.
Poids racine (g)	*	n.s.	n.s.
Longueur racine principale (cm)	n.s.	n.s.	n.s.
Largeur système racinaire (cm)	n.s.	n.s.	n.s.
Diamètre racine principale (mm)	n.s.	n.s.	n.s.
Diamètre racine secondaire (mm)	n.s.	n.s.	n.s.
Matière sèche racines (%)	n.s.	n.s.	n.s.

*: P valeur < 0.05; **: P Valeur < 0.01; n.s.: non significative; ligne d'irrigation = Type de conduite; Eau* ligne d'irrigation = Interaction entre le facteur eau et le facteur ligne d'irrigation

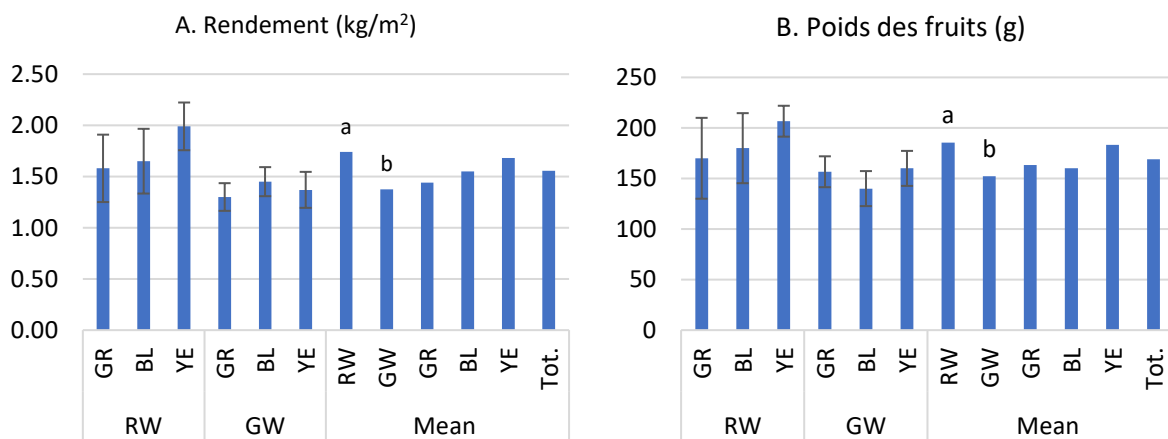


Figure 6. Rendement et poids des fruits individuels pour la culture de courgettes

A. Rendement de la culture exprimé en kg par m²; B. Poids des fruits en g. RW = les eaux purifiées, GW = Eaux souterraines, GR = Aile de goutte verte, BL = Aile de goutte bleue; YE = Aile de goutte jaune. Les graphiques montrent les valeurs moyennes de 3 répétitions ± l'écart-type, les lettres indiquent la signification statistique.



3.2 Laitue

Un effet significatif du type d'eau d'irrigation (Facteur : eau) sur le poids frais de la tête et donc sur le rendement de la culture a également été observé pour la laitue (Tableau 3). Les plantes irriguées avec de l'eau phyto ont montré un rendement plus élevé que celles irriguées avec de l'eau conventionnelle (Figure 7). Bien que cela ne soit pas statistiquement significatif, un plus grand nombre de feuilles a été enregistré dans les plantes irriguées avec de l'eau phyto-épurée (Tableau 3). En ce qui concerne les autres caractéristiques des plantes, un effet significatif de l'interaction entre l'eau d'irrigation et les ailes du goutte-à-goutte sur le diamètre des racines secondaires a été observé (Tableau 3).

Tableau 3. Analyse de la variance des caractéristiques morphobiométriques

	ANOVA		
	Eau	Ligne d'irrigation	Eau Ligne d'irrigation*
Rendement (kg m ⁻²)	*	n.s.	n.s.
N° feuilles	n.s.	n.s.	n.s.
Diamètre du tambour (mm)	n.s.	n.s.	n.s.
Hauteur tige (mm)	n.s.	n.s.	n.s.
Matière sèche portion épigée (%)	n.s.	n.s.	n.s.
Poids système racinaire (g)	n.s.	n.s.	n.s.
Longueur racine principale (cm)	n.s.	n.s.	n.s.
Largeur système racinaire (cm)	n.s.	n.s.	n.s.
Diamètre racine principale (mm)	n.s.	n.s.	n.s.
Diamètre racine secondaire (mm)	n.s.	*	**
Matière sèche partie épigée (%)	n.s.	n.s.	n.s.

Légend: *: P valeur < 0.05; **: P Valeur < 0.01; n.s.: non significative; Eau = Type d'eau d'irrigation; ligne d'égouttage = Type de conduite; Eau* ligne d'égouttage = Interaction entre le facteur eau et le facteur ligne d'égouttage

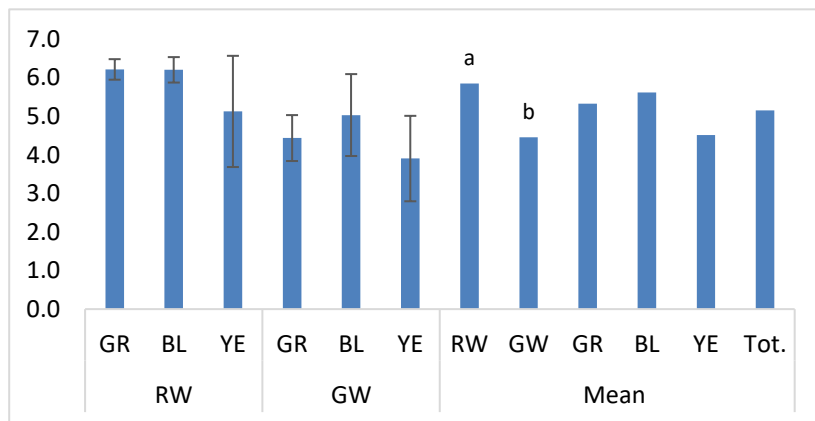


Figure 7. Rendement (kg m⁻²)

A. Rendement de la culture (kg/m²), RW = les eaux purifiées, GW = Eaux souterraines, GR = Aile de goutte verte, BL = Aile de goutte bleue ; YE = Aile de goutte jaune. Les graphiques montrent les valeurs moyennes de 3 répétitions ± l'écart-type, les lettres indiquent la signification statistique.

En Tunisie, la laitue a été transplantée sur les parcelles d'essai alimentée par les eaux traitées par les filtres plantés. L'INRAT a effectué le suivi de cette partie des analyses.



Figure 8. Cultive de la laitue sur les parcelles expérimentales