Les enjeux de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

Nassim AIT MOUHEB

(Directeur de Recherche, INRAE-UMR GEAU)

nassim.ait-mouheb@inrae.fr

Journée professionnelle sur la thématique : ***La Réutilisation des Eaux Usées Traitées"***

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

INRAE

G-EAU
Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages
Water matters

Problématiques recherche réutilisation des eaux usées traitées à l'UMR GEAU

Traitement

- Adaptation à l'usage agricole sans risques
- Traitement décentralisé et bas coûts

Irrigation

- Efficience de l'irrigation localisée
- Contrôle de la dérive en aspersion

Environnement

- Sanitaires et polluants
- Dégradation des sols et des nappes

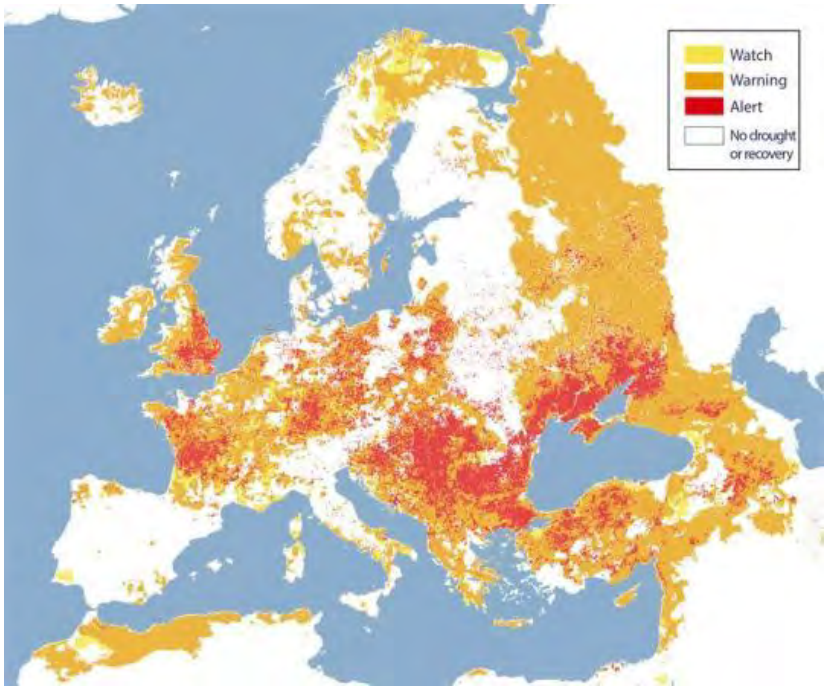
Agronomique

- Productivité agronomique
- Gestion de l'irrigation et des intrants

Enjeux transversaux:

- Evaluations économiques et environnementales (ACV)
- Analyses socio-politiques de la REUSE

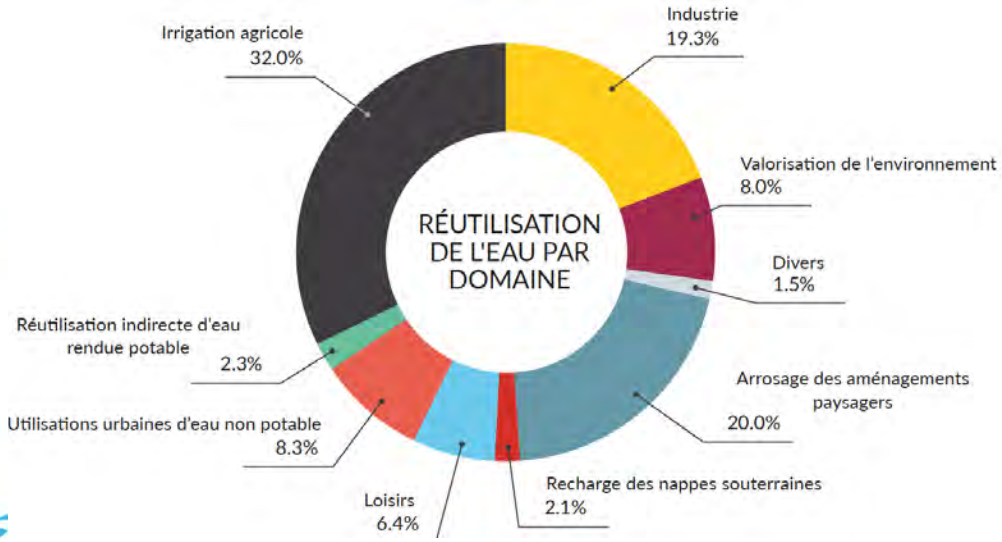
Réutilisation des eaux usées en Irrigation: Contexte



Index Sécheresse en Europe – Juin 2025
Observatoire européen de la sécheresse, 2025

- Le terme «réutilisation des eaux usées» se réfère à un effluent contenant des impuretés provenant de sources biologiques.
- Les sources typiques comprennent déchets humains et animaux, déchets domestiques, industriels et agro-alimentaire.

Réutilisation des eaux usées en Irrigation: Contexte



Lautze et al. (2014, fig. 2, p. 5, d'après les données de Global Water Intelligence).

- Le terme «réutilisation des eaux usées» se réfère à un effluent contenant des impuretés provenant de sources biologiques.
- Les sources typiques comprennent déchets humains et animaux, déchets domestiques, industriels et agro-alimentaire.

Réutilisation des eaux usées en Irrigation: Contexte

A.Bahri

Eaux usées domestiques brutes-

Jordan Ministry

Irrigation dans la Vallée du Jourdain
Jordanie

SCE

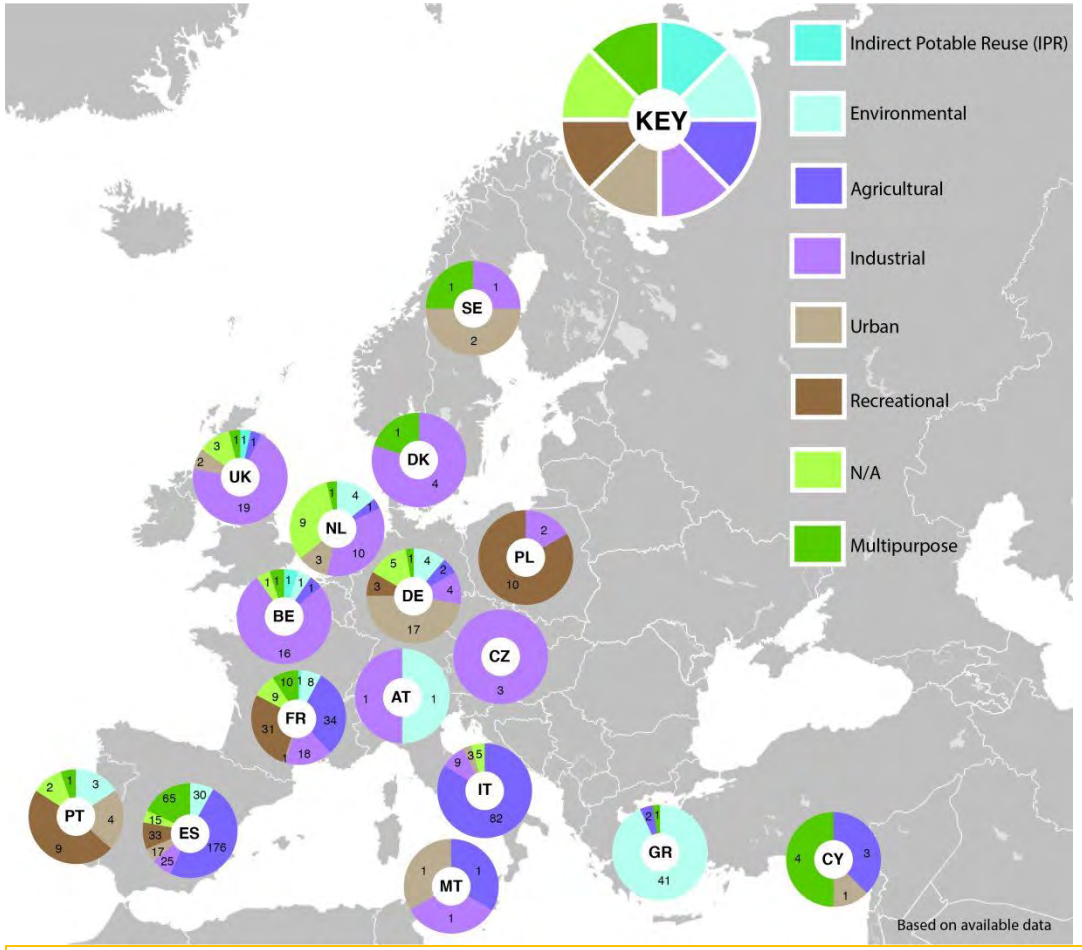
EU domestiques traitées-pomme de terre
Ile de Noirmoutiers, France

- Le terme «réutilisation des eaux usées» se réfère à un effluent contenant des impuretés provenant de sources biologiques.
- Les sources typiques comprennent déchets humains et animaux, déchets domestiques, industriels et agro-alimentaire.

Réutilisation des eaux usées en Irrigation: Contexte

EU domestiques traitées-pomme de terre
Ile de Noirmoutier, France

Clermont Ferrand irrigation (**750 ha**)



Réparation de la REUT d'après une étude du secteur réalisée en 2017 par Water Reuse Europe

Contexte en France

Peu de projets actifs en France, **moins de 1% du volume des eaux usées traitées est réutilisé.**

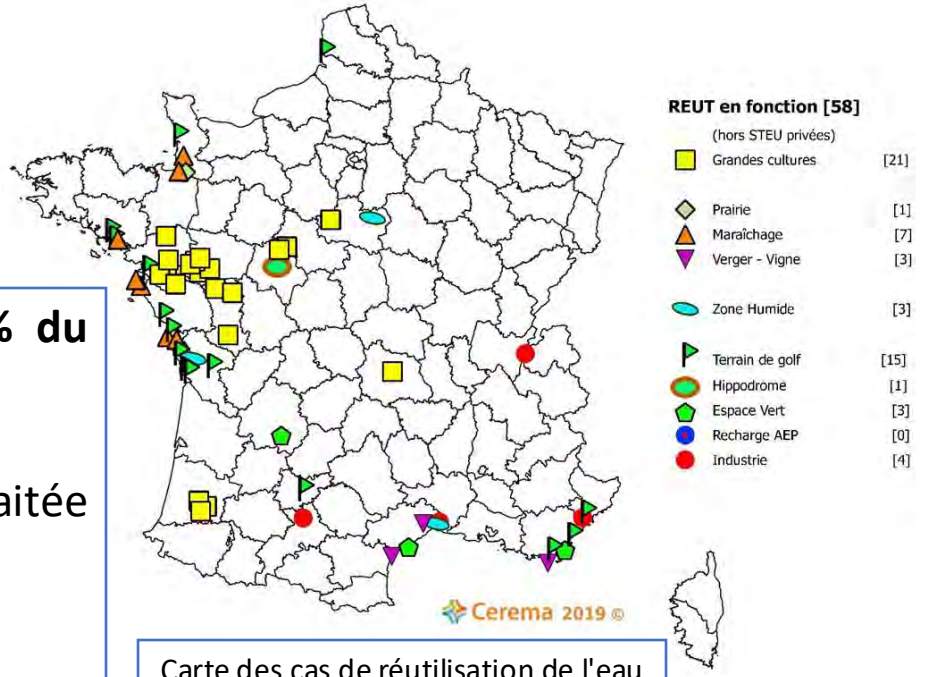
58 cas de projets de réutilisation d'eau usée traitée pour les usages suivants :

- terrain de golf, 15 cas
- irrigation agricole, 32 cas
- parc et jardin, seulement 3 cas

Les premières applications sont motivées par des problématiques de **disponibilité de l'eau et contaminations des cours d'eau :**

- sur les zones côtières (Pornic, Baden)
- sur les îles (Noirmoutier, Porquerolles).

Cependant, le potentiel est important: 8,4 milliards de m^3 produits chaque année en France métropolitaine.



Carte des cas de réutilisation de l'eau en exploitation

Clermont Ferrand irrigation (**750 ha)**

Plan Eau 2023: le Gouvernement accélère la réutilisation des eaux usées traitées (REUT)

Le plan d'action prévoit d'un point de vue quantitatif:

- de développer **1 000 projets de réutilisation** sur l'ensemble du territoire d'ici 2027
- de multiplier **par dix le volume d'eaux usées traitées réutilisées** pour d'autres usages d'ici 2030.
- de nouveaux volumes pourront être mobilisés grâce à **l'utilisation des eaux usées traitées issues de « petites stations ».**
- **les eaux usées traitées produites dans un département pourront être employées sur un département voisin.**
- de développer en priorité la REUT sur le littoral.
- De diversifier vers **de nouveaux usages.**

(source: https://www.ecologie.gouv.fr/plan-eau-gouvernement-accelere-reutilisation-des-eaux-usees-traitees-reut)

Quels sont les volumes d'eaux usées traitées disponibles pour irrigation en France?

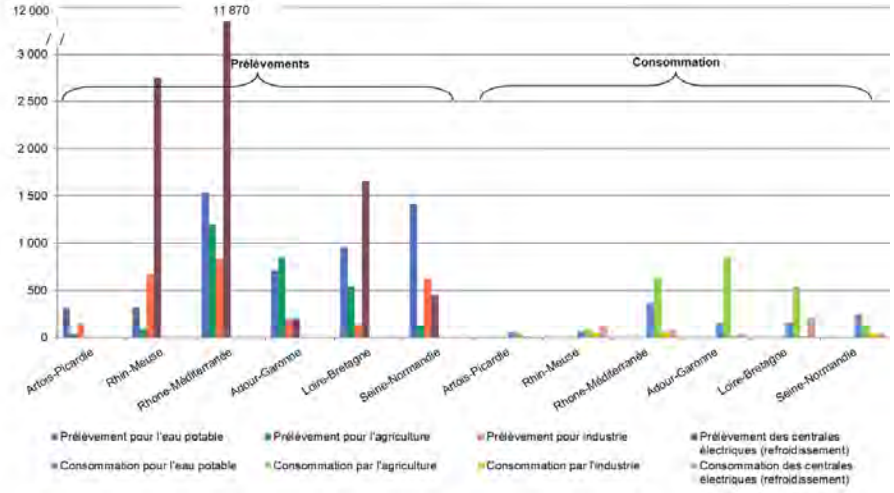
Quels sont les besoins en France?

Contrairement à l'industrie, l'agriculture consomme la quasi-totalité de l'eau prélevée.

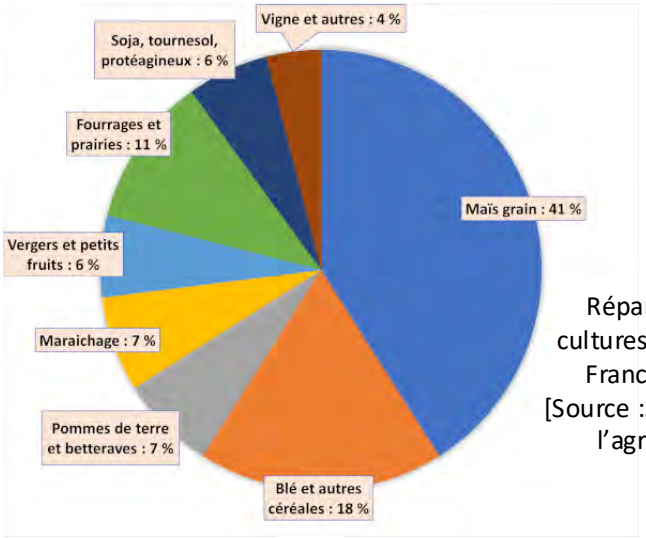
- Si elle utilise **45% de l'eau consommée en France** sur une année, cette part monte à 80% sur la période de juin à août, note le ministère.

- En 2020, **7,3% de la surface agricole était irriguée**, contre 5,8% en 2010, principalement dans la moitié sud de l'Hexagone.

- Les cultures irriguées sont d'abord le maïs à grain (41% de la surface irriguée), devant le blé ou le sorgho (17%) (en 2010).



Prélèvements et consommation d'eau douce en France (moyenne 2010-2018) En millions de m³(Source : SDES, 2023)



Répartition des cultures irriguées en France en 2010 [Source :. Ministère de l'agriculture]

N-Ait Mouheb-nassim.ait-mouheb@inrae.fr

Est-ce que les volumes disponibles des eaux usées traitées correspondes aux besoins agricoles?

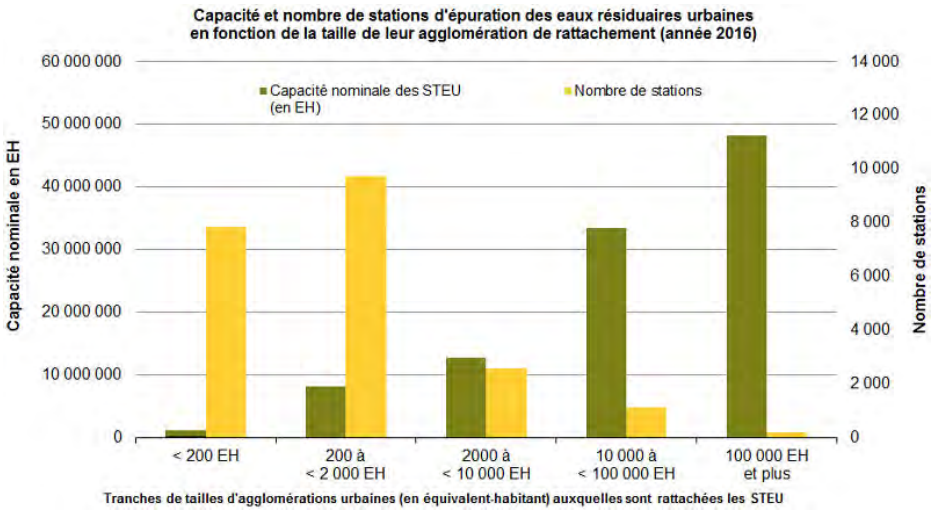


Tableau 2 - **Rendement et demande en eau par hectare des cultures irriguées selon l'année climatique**

Cultures irriguées	Année moyenne (AM)	Année Sèche (AS)	Année moyenne (AM)	Année Sèche (AS)
	Rendement (t/ha)		Prélèvement (m³/ha)	
Maïs grain ou ensilage irrigué 1	10,5	10,5	1 800	2 800
Maïs grain ou ensilage irrigué 2	13,0	13,0	3 010	3 600
Blé dur	7,0	6,5	1 200	1 800
Blé tendre	6,5	6,0	1 500	1 800
Soja	3,9	3,8	2 600	3 000
Tournesol	3,2	2,8	800	1 200
Abricot	22,0	22,0	2 000	2 600
Noyer franquette	2,5	2,5	1 800	2 400
Noyer fernor	4,0	4,0	2 400	3 000
PDT délikatess été	20,0	20,0	2 500	4 000
PDT délikatess printemps	18,0	18,0	1 250	1 800
Courges	17,5	17,5	300	900
Navets	25,0	25,0	1 800	2 500
Luzerne	14,5	8,7	2 800	3 500
Prairie irriguée	10,0	6,0	1 200	1 800

Source : auteurs

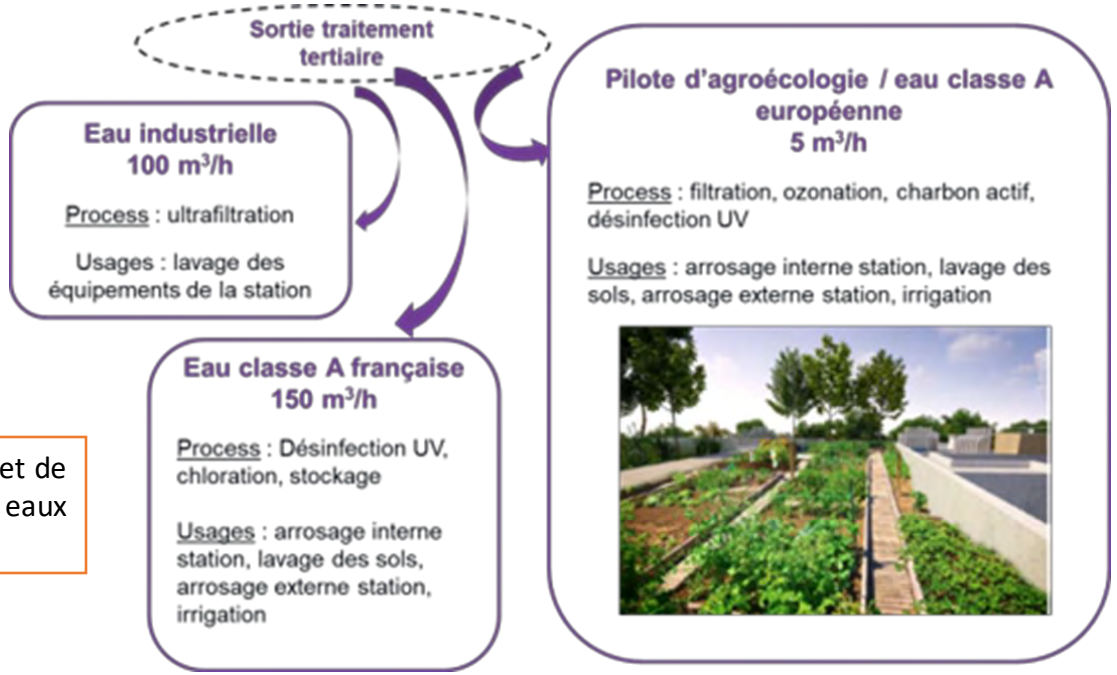
- Plus de **50 % des stations ont une capacité théorique inférieure à 500 EH (environ 75 m3/j)**. À l'opposé, 6 % des stations ont une capacité au moins égal à 10 000 EH.

- Exemple à Roquefort Lés Corbières: Pour une station de 2000 EH, **15 ha maximum de vigne sont irrigués avec des EUT contre 500ha de surface agricole.**

Opportunité d'une réutilisation des eaux usées traitées de l'usine d'épuration Maera pour des usages agricoles

Rénovation de la STEP de MAERA :

- La future station de traitement des eaux usées sera dimensionnée pour 660 000 EH et sera capable d'accepter un volume d'eaux usées de **175 000 m³/j.**
- Le rejet devra pouvoir monter jusqu'à un débit de 4 m³/s.



Source: Bilan de la concertation préalable, Projet de modernisation de la station de traitement des eaux usées Maera

N-Ait Mouheb-nassim.ait-mouheb@inrae.fr

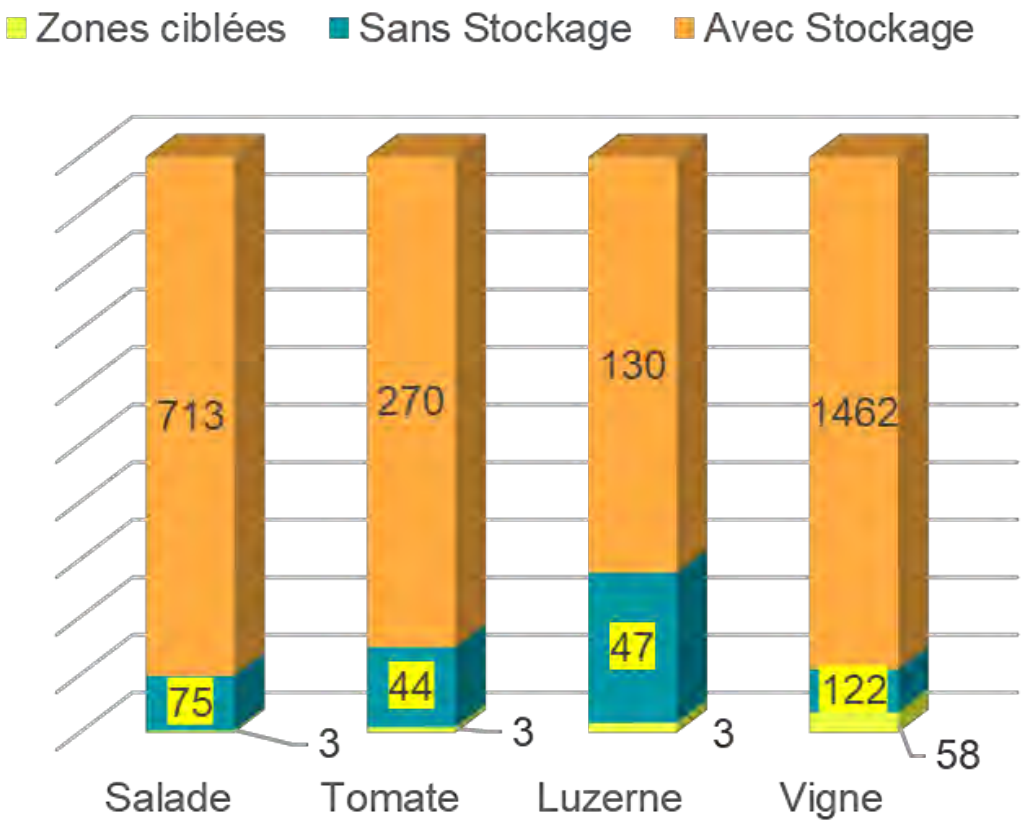
Opportunité d'une réutilisation des eaux usées traitées de l'usine d'épuration Maera pour des usages agricoles

Chaire partenariale EAU AGRICULTURE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Montpellier Méditerranée Métropole

Résultats:

Type de culture	Besoin annuelle en eau d'irrigation	Durée d'Irrigation (Jours)
Salade	157	50
Tomate	395	90
Luzerne	773	170
Vigne	200	60



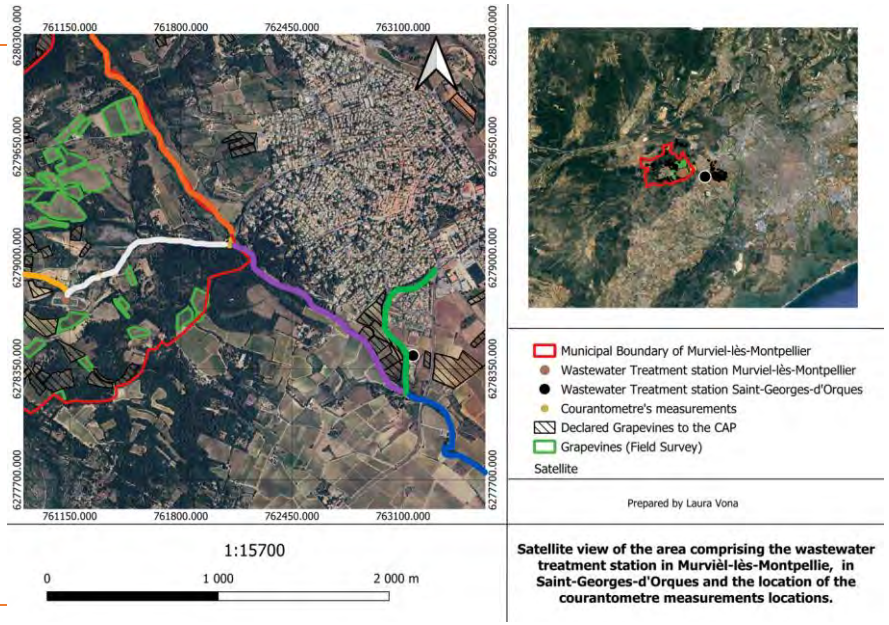
INRAE

N-Ait Mouheb-nassim.ait-mouheb@inrae.fr

Opportunité d'une réutilisation des eaux usées traitées à Murviel Lès Montpellier pour des usages agricoles

Méthodologie

- Evaluations des besoins des cultures dans des conditions d'année sèche: Vigne (existant) ou maraichages salade ou tomate(en prospective)
- Outils géo-spatiaux Q-GIS pour évaluer les zones agricoles
- Estimation des débits sorties STEP Murviel Lès Montpellier et Saint Georges d'Orques et dans les cours d'eau



Satellite view of the area comprising the wastewater treatment station in Murviel-lès-Montpellie, in Saint-Georges-d'Orques and the location of the courantometre measurements locations.

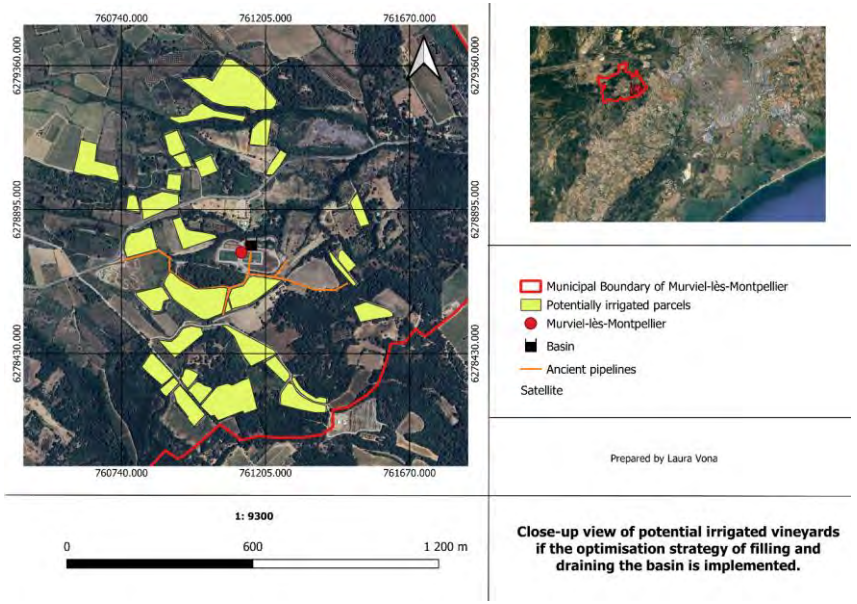
Débit	M3/jour	l/s
Sortie STEP Murviel	256	2,5
Sortie STEP Saint Georges d'Orques	717	8,30
Somme des 2 rejets	938	10,85
Débit d'étiage minimum (Source Syble)	432	5

N-Ait Mouheb-nassim.ait-mouheb@inrae.fr

Opportunité d'une réutilisation des eaux usées traitées à Murviel Lès Montpellier pour des usages agricoles

Hypothèse 1: Parcelles de vignes irrigables sur la base de l'utilisation de 50 % des rejets pendant la saison d'irrigation

- A Murvièl-Lès-Montpellier, 50 % de l'eau est allouée à des fins d'irrigation pendant la période estivale.
- Les 50 % restants sont réservés au maintien du débit de la rivière, pendant la période d'irrigation.



Type de culture	Besoins en eau(mm)	Surface potentiellement irrigable (hectares)
Vigne	80	7 à 12
Salade	157	4
Tomate	583	2

N-Ait Mouheb-nassim.ait-mouheb@inrae.fr

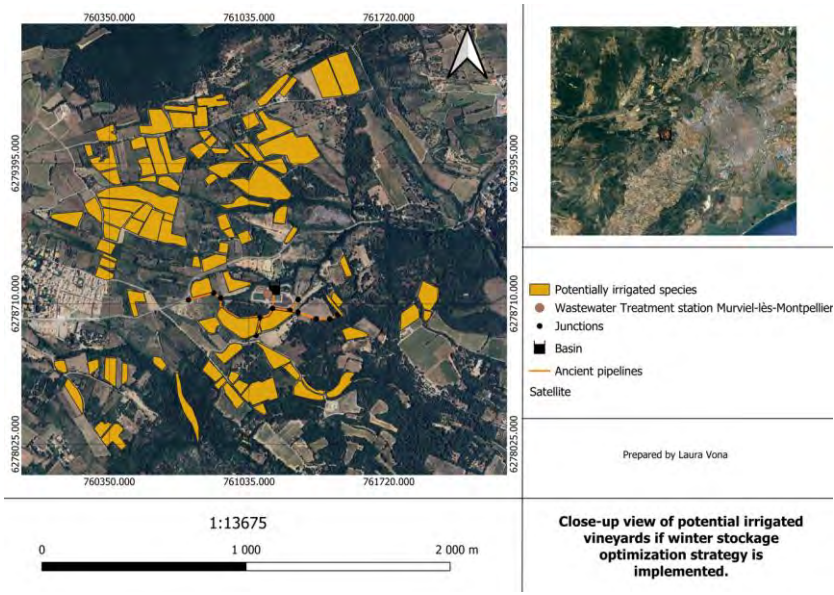
Opportunité d'une réutilisation des eaux usées traitées à Murviel Lès Montpellier pour des usages agricoles

Hypothèse 2 :Parcelles de vignes irrigables avec 50 % des eaux usées de sortie de novembre à avril.

Gérer les besoins en irrigation grâce au stockage hivernal :

- Alimentation de l'eau à 50% (un débit de 129 m3/jour), à partir entre Novembre et avril.
- Volume total du bassin : 23180 m^3
- Hauteur du bassin : 1,5 m, Surface du bassin : 15500 m^2, 1,55 ha
- Temps nécessaire pour remplir le bassin : 179 jours

Cette approche garantit un approvisionnement en eau suffisant pour répondre aux demandes des mois d'été tout en maintenant le débit de la rivière pendant ces mois.

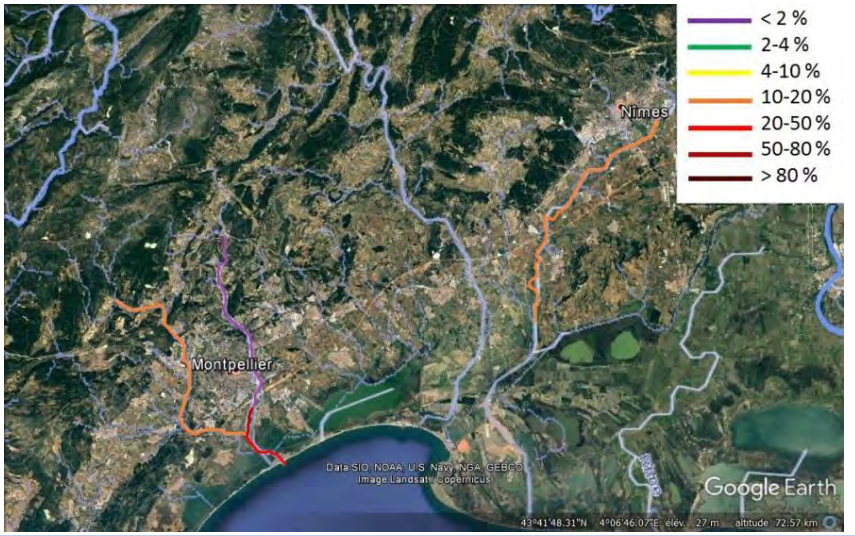


Type de culture	Besoins en eau(mm)	Surface potentiellement irrigable (hectares)
Vigne	80	29
Salade	157	14
Tomate	583	5

REUT direct ou indirect, REUT environnementale: quelles ressources ?

Table 4.7 Degree of wastewater impact for the Loir, Le Vistre, La Mosson, and Le Lez river gauging stations for the irrigation with surface water case study areas near Eure-et-Loir and Montpellier

Surface Water Irrigation		Degree of wastewater impact (%)		
River	Gauging Station	Average	Maximum	Minimum
Loir	Trizay-lès-Bonneval (28)	1.7	23.8	0.1
	Saint-Maur-sur-le-Loir (28)	2.1	18.3	0.2
	Conie-Molitard (28)	2.6	7.3	1.4
	Saint-Hilaire-sur-Yerre (28)	0.8	4.0	0.1
	Romilly-sur-Aigre (28)	0.3	1.1	0.2
Montpellier-Le Vistre	Le Cailar (30) - Le Vistre	13.4	39.2	1.7
	Bernis (30) - Le Vistre	15.6	75.3	2.1
Montpellier -La Mosson	Saint-Jean-de-Védas (34) - La Mosson	13.8	248	2.3
Montpellier -Le Lez	Montpellier (34) - Le Lez	1.5	6.8	0.1
	Lattes (34) - Le Lez	50.8	144	3.5



- Estimations de l'impact des eaux usées pour des tronçons de rivière sélectionnés dans les bassins du Vistre, de la Mosson et du Lez, avec indication des taux de dilution en 2017

Quels sont les qualités d'eaux usées traitées pour irrigation ?

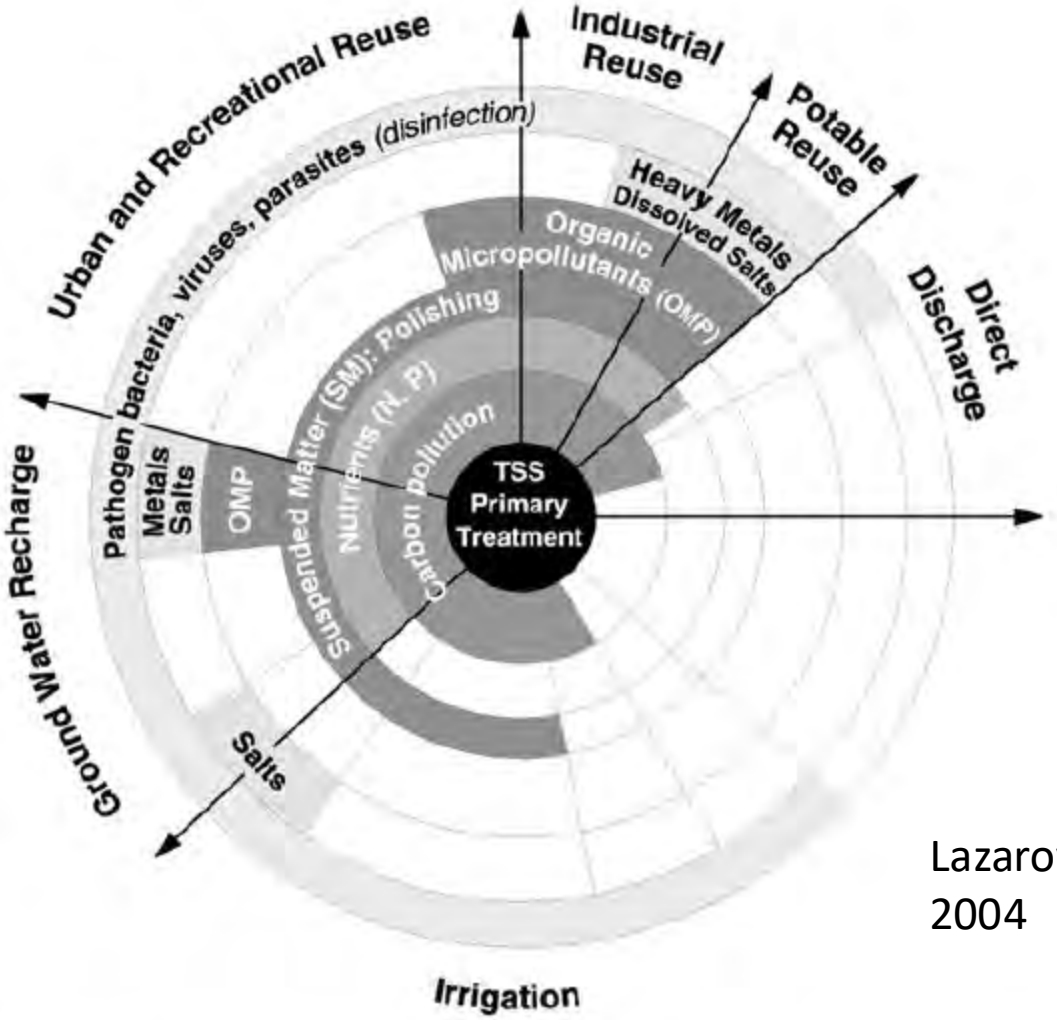
Paramètres de qualité des eaux usées traitées

Table 2.1 Parameters Used for Evaluation of Water Quality for Irrigation

General parameters	Organics	Microorganisms	Anions	Cations	Trace elements		Specific parameters
Acidity/ Alkalinity: pH	BOD, mgO_2/L	Bacteria	Bicarbonate (HCO_3^-)	Ammonia ($N-NH_4^+$)	Aluminum (Al)	Arsenic (As)	Boron (B)
Color/Turbidity	COD, mgO_2/L	Total coliforms	Carbonate (CO_3^{2-})	Calcium (Ca^+)	Beryllium (Be)	Cadmium (Cd)	Sodium adsorption ratio (SAR)
Electrical conductivity, (EC_w), dS/m	Organic nitrogen	Fecal coliforms	Chloride (Cl^-)	Magnesium (Mg^{2+})	Cobalt (Co)	Chromium (Cr)	
Hardness, $mEqCaCO_3/L$	Organic phosphorus	*Salmonella*	Fluoride (F^-)	Potassium (K^+)	Iron (Fe)	Copper (Co)	
Total suspended solids (TSS), mg/L	Target compounds: pesticides and other trace organics	Viruses	Nitrate ($N-NO_3^-$)	Sodium (Na^+)	Lithium (Li)	Lead (Pb)	
Temperature		Helminths	Phosphate ($P-PO_4^{-3}$)		Manganese (Mn)	Mercury (Hg)	
Total dissolved solids (TDS), mg/L		Ascaris	Sulfate (SO_4^{2-})		Molybdenum (Mo)	Zinc (Zn)	
		Taenia eggs			Selenium (Se)		
		Protozoa			Tin (Sn)		
		Giardia, *Cryptosporidium*			Tungsten (W)		
		Pathogens			Vanadium (V)		
		Salmonella, *Legionella*					

Lazarova and Bahri, 2004

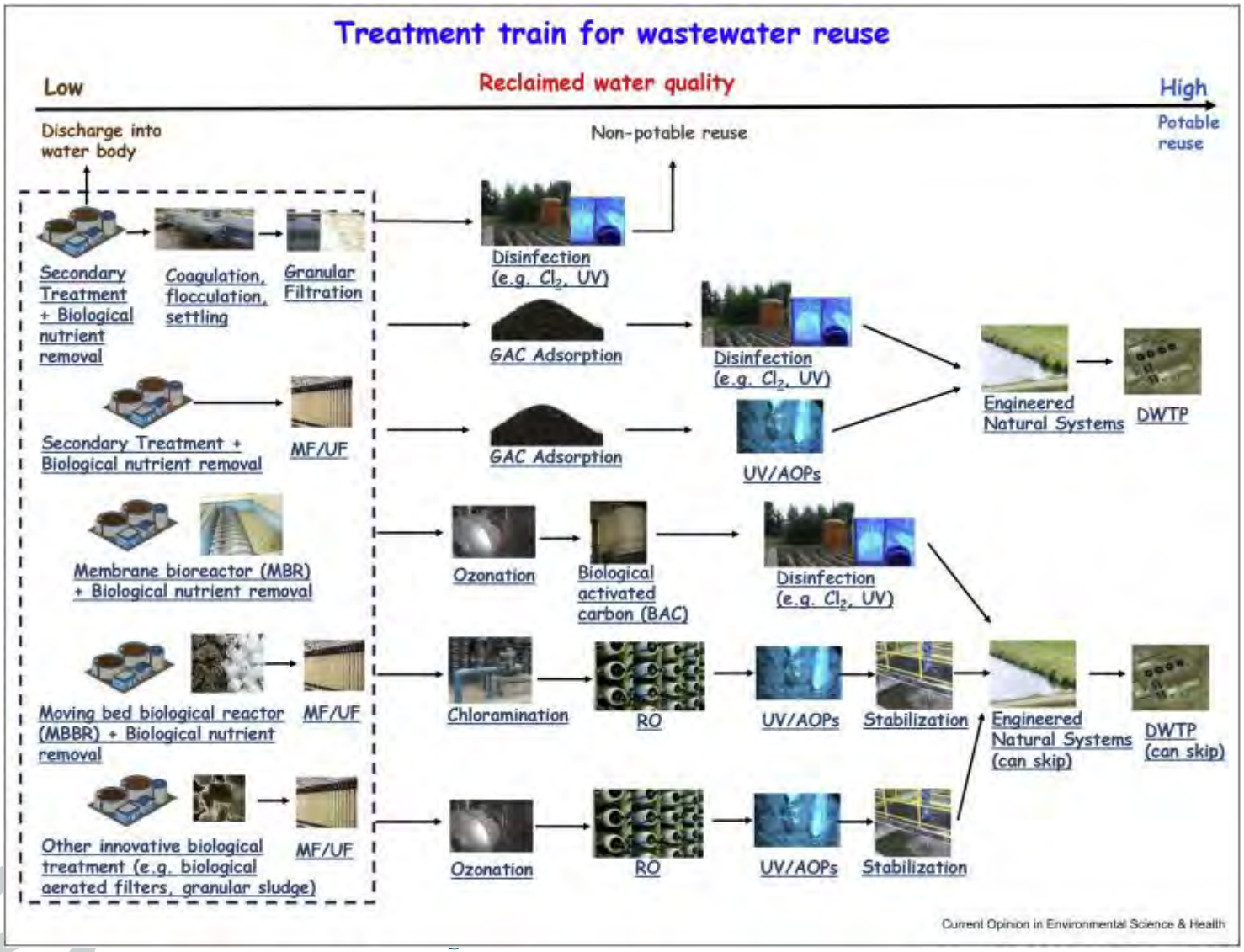
Plusieurs filières de traitements possibles: selon les objectifs Reuse



Lazarova et Bahri 2004

Figure 7.1 Treatment levels for target pollutants that need to be removed for different types of reuse purposes.

Plusieurs filières de traitements possibles: efficacités et coûts très variables



Roccaro et al. 2018

Réglementation REUSE en France

- Arrêté du 18 décembre 2023 relatif aux conditions de production et d'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de cultures

Tableau 4. – Paramètres et niveau de qualité

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/L)	≤ 10	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'utilisation		
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (mg/L)	≤ 10	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'utilisation		
Escherichia coli (nombre/100mL)	≤ 10	≤ 100	≤ 1 000	≤ 10 000
Coliphage (bactériophages ARN-F spécifiques et/ou phages somatiques (*)	≤ 10	≤ 100	≤ 1 000	≤ 10 000
Clostridium perfringens (**)	≤ 10	≤ 100	≤ 1 000	≤ 10 000
Turbidité (NTU)	≤ 5	-	-	-
Autres	Legionella spp. : < 1 000 ufc/l lorsqu'il existe un risque de formation d'aérosols Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes) : ≤ 1 œuf/l pour l'irrigation des pâturages ou des fourrages frais			

(*) Les coliphages totaux sont choisis comme étant l'indicateur viral le plus approprié. Cependant, si l'analyse des coliphages totaux est impossible, au moins l'un d'entre eux (les coliphages F-spécifiques ou les coliphages somatiques) doit être analysé.
(**) Les spores de *Clostridium perfringens* sont choisies comme étant l'indicateur de protozoaires le plus approprié. Cependant, les bactéries anaérobies sulfito-réductrices et leurs spores offrent une solution de remplacement si la concentration de spores de *Clostridium perfringens* ne permet pas de valider la réduction $\log_{10}$ requise.

INRAE

Réglementation REUSE en France

Tableau 1. - Usages possibles suivant le niveau de qualité des eaux usées traitées

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Toutes les cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est en contact direct avec l'eau usée traitée et les plantes racines consommées crues (1)	+	*	*	-
Cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est cultivée en surface et n'est pas en contact direct avec l'eau usée traitée, cultures vivrières transformées et cultures non vivrières y compris servant à l'alimentation des animaux producteurs de lait ou de viande (hors fourrage frais, pâturage, cultures industrielles, cultures énergétiques et cultures semencières)	+	+ (2)	*	-
Fourrage frais et pâturage	+	+	*	-
Cultures industrielles, cultures énergétiques et cultures semencières	+	+	+	+

+ autorisée, - : interdite, * : possible en mettant en place un système de barrières appropriées tel que défini en section 2.
(1) La réutilisation d'eaux usées traitées est interdite pour la cressiculture.
(2) L'irrigation pour l'arboriculture fruitière est interdite pendant la période allant de la floraison à la cueillette pour les fruits non transformés, sauf en cas d'irrigation au goutte à goutte.

Réglementations eaux d'irrigation

Country/Region	Water type	Regulation/guideline	Criterion
Australia/New Zealand	Reclaimed water for irrigation of commercial crops eaten raw	Guideline	<1 *E. coli*/100 mL
Canada (Alberta)	Surface water	Guideline	1,000 total coliforms/100 mL <100 fecal coliforms/100 mL
Canada (British Columbia)	Surface water	Guideline	200 fecal coliforms/100 mL 77 *E. coli*/100 mL <20 fecal streptococci/100 mL
USA	Surface water	Guideline	<126 *E. coli*/100 mL
USA	Reclaimed water	Guideline	Fecal coliforms absent in 100 mL
California	Reclaimed water	Regulation	<2.2 total coliforms/100 mL fecal coliforms absent
Denmark	Surface water	Notification[2]	*E. coli* absent in 100 mL
Portugal	Surface water	Regulation[3]	5 or 500 total coliforms/ 100 mL
EU Commission	Untreated surface water/open water channels	Guideline[1]	<100 *E. coli*/100 mL to <10,000 E. coli/100 mL (depending on crop type)

Note: [1]see further details in Appendix Table A-9 (EU Commission, 2017).
[2]https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=160400
[3]Decree-Law No. 236/98 of August 1, 1998

INRAE

Technologies d'irrigation et Eaux non-conventionnelles

Irrigation par aspersion

Uniformité

Pertes dues à la dérive et à l'évaporation

EFFICIENCE

Impact environmental erosion, lessivage, aérosols

Impact sur le sol et les cultures

Formation et dispersion des gouttes

- Comment le prédire?
- Géométries très diverses:

Canon (Kadem, 2008) ; sprinkler (Stevenin, 2012)

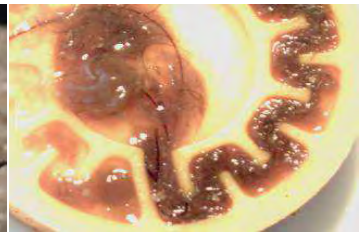
+ interaction avec atmosphere (Hendawi, 2007).

Reuse & micro irrigation

Avantages de l'irrigation goutte-à-goutte:

1) Distribution sous faible pression au voisinage de la plante (0.5 à $8\ lh^{-1}$)
2) Les canaux milli-canaux favorisent la perte de charge
3) Efficience théorique de l'eau >90%[1]
4) Réduction des contacts eau-agriculteurs (Tarchitzky et al., 2013)

Problème majeure : LE COLMATAGE[1]

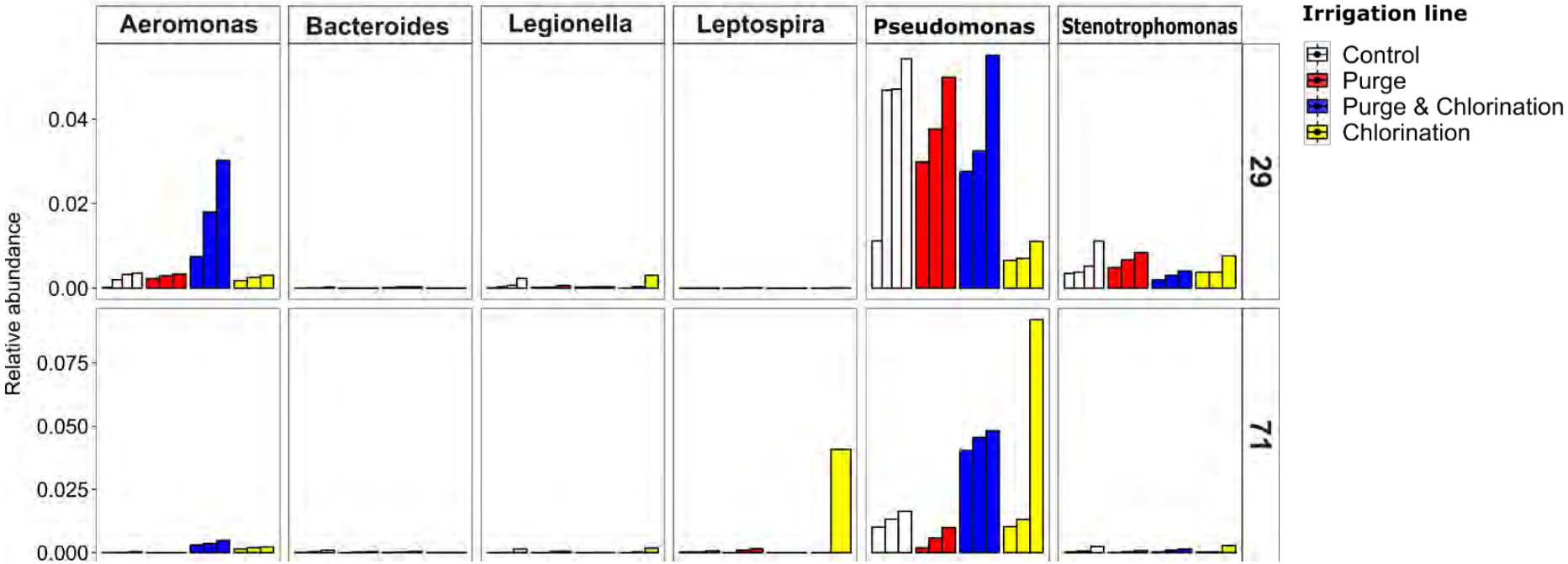
Physique	Chimique[2]	Biologique[3]
		
Agrégation de particules (sable, argile)	Précipitation chimique (sels)	Biofilm

- ⇩ **Uniformité de distribution**
- ⇩ **Efficience de l'eau**
- ⇩ **Rendements**
- ⇧ **Opérations de maintenance**

[1] Lamm et al. 2007. Microirrigation for crop production—design, operation and management
[2] Rizk et al. 2017. Parameters controlling chemical deposits in micro-irrigation with treated wastewater
[3] Katz et al. 2014. Fouling formation and chemical control in drip irrigation systems using treated wastewater

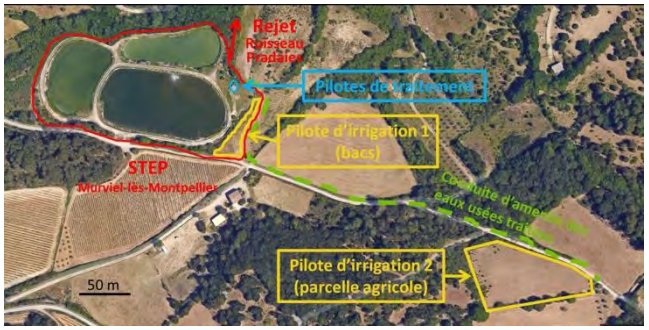
Pathogènes Opportunistes dans les biofilms

Principaux genres incluant des espèces pathogènes opportunistes retrouvés dans les données séquençage des biofilms goutteurs:



Valorisation agronomique des eaux usées

Plateforme expérimentale REUT Murviel-lès-Montpellier depuis 2016



Parcelle agricole: vignes, arbres, luzerne

Sous serre bacs hors-sols: maraichages

Partenaires:

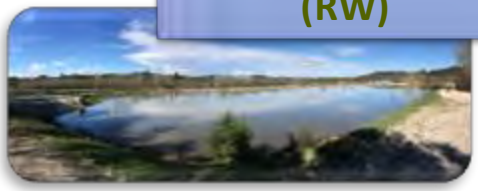
- INRAE GEAU Montpellier (Coordination)
- Métropole 3M Montpellier
- INRAE Lyon
- INRAE-LBE
- IRD-HSM
- Université de Montpellier-IEM

Valorisation agronomique des eaux usées

- Analyses des nutriments dans l'eau d'irrigation

Drinking Water (DW)

Treated Wastewater (TW)



Raw Wastewater (RW)

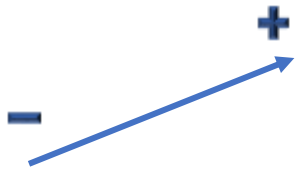
Parameters	Units	DW	TW	RW
EC at 20°C	mS cm^{-1}	0.56 ± 0.16	1.28 ± 0.15	1.39 ± 0.10
$N\text{-}NO_3$	mg L^{-1}	0.4 ± 0.49	0.59 ± 0.17	0.98 ± 0.12
P	mg L^{-1}	0.57 ± 0.09	6.97 ± 1.49	7.80 ± 3.08
Cl	mg L^{-1}	41.68	120.1	168.84
$N\text{-}NH_4$	mg L^{-1}	0.39 ± 0.16	28.40 ± 0.17	33.4 ± 7.5
K	mg L^{-1}	1.03	20.21	24.79
Mg	mg L^{-1}	7.18	13.15	14.51
Ca	mg L^{-1}	51.74	93.26	82.49
Na	mg L^{-1}	18.95	83.68	125.34
SAR	meq L^{-1}	2.55	8.37	13.23

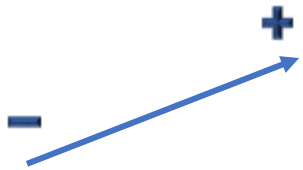
SAR : Sodium Adsorbtion Ratio

Valorisation agronomique des eaux usées

- **SOL:**
  - Caractéristiques chimiques du sol (0-30 cm de profondeur) avant la plantation et après la fin des cycles d'irrigation par DW, TW, et RW

			Lettuces (After 2 Cycles)			Leeks (After 1 Cycle)		
Parameters	Units	Before planting	DW	TW	RW	DW	TW	RW
EC	mS/cm	0.13 ± 0,01	0.21	0.37	0.4	0.2	0.26	0.41
NO_3-N	mg/kg	7.20 ± 1,90	29.2	64.9	96.6	2.2	45	44.1
NH_4-N	mg/kg	0.43 ± 0,23	2.9	4.7	4.1	3.7	1.6	4.7
Na	mg/Kg	13.23 ± 1,93	40	172.8	150.5	46.5	232.3	249
Cl	mg/kg	44.67 ± 2,31	135	283	320	151	253	313



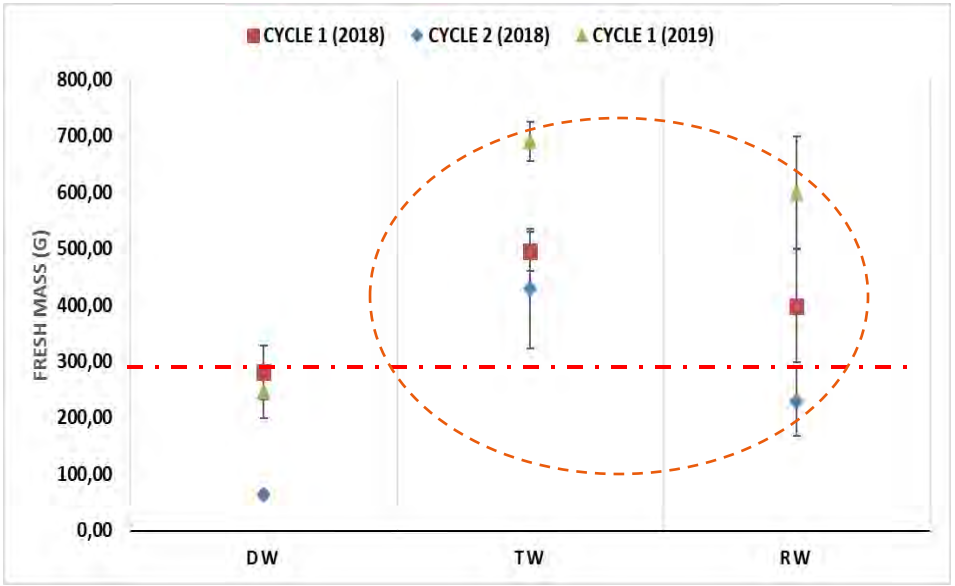


- **Accumulation d'éléments dans la zone racinaire probablement due au sol argileux qui a une faible conductivité hydraulique.**

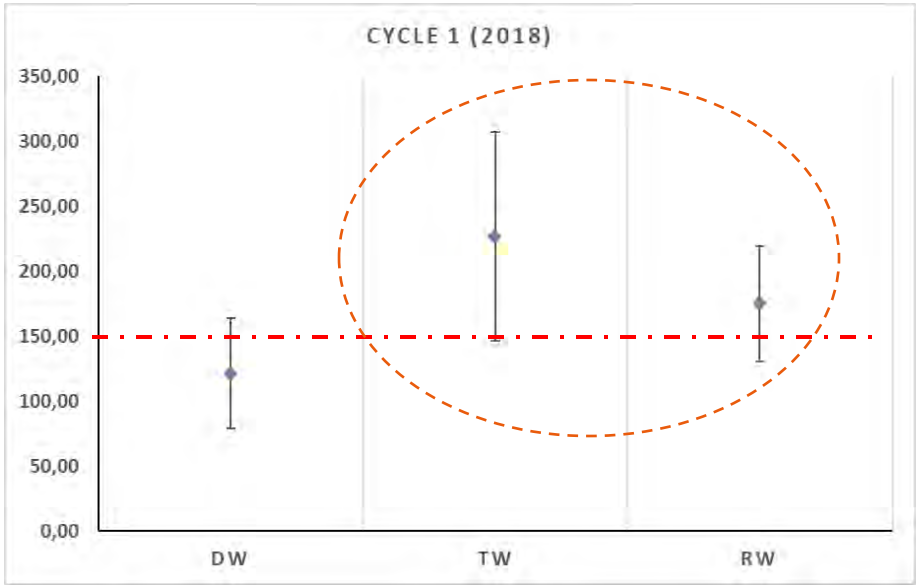
Valorisation agronomique des eaux usées

- **Rendements:**
  - **Analyse du poids frais des salades et des poireaux à la récolte**

SALADES



POIREAUX



➢ Pour la laitue et le poireau, la masse fraîche est plus importante pour TW à RW, elle peut s'expliquer par une concentration plus élevée en Na et Cl dans RW.

Valorisation agronomique des eaux usées

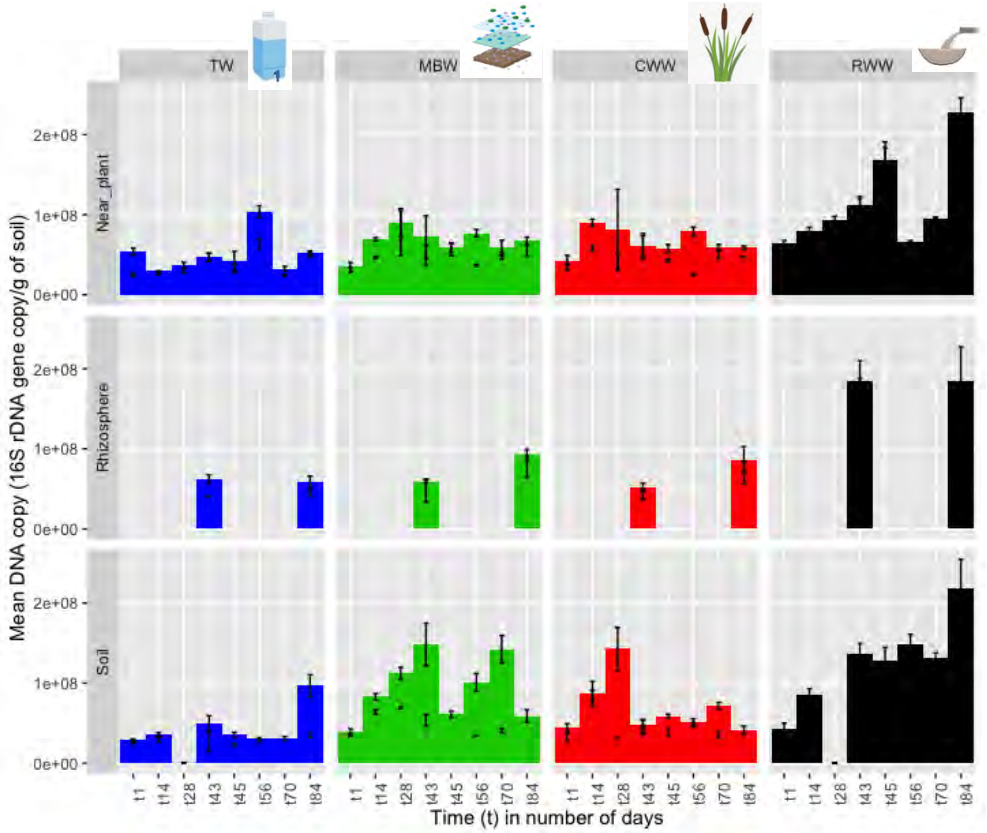
- **Impact sur les salades mais pas les poireaux**

➢ **À la fin du cycle 2 salades, on observe des feuilles brulées uniquement pour les salades irriguées avec de l'eau brute.**

Eaux usées traitées

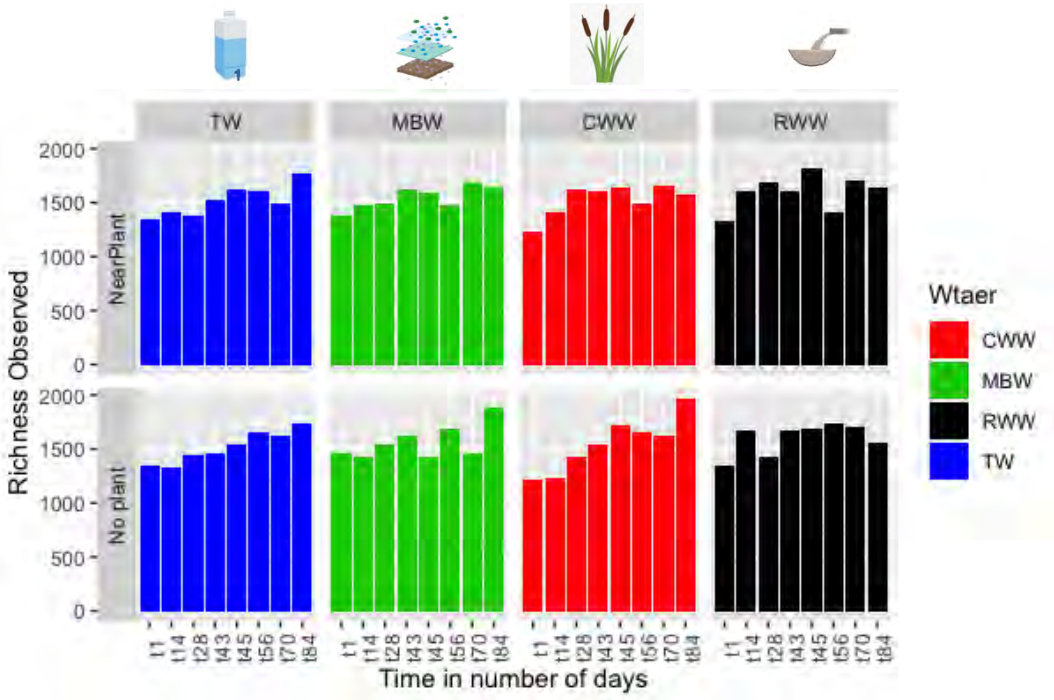
Eaux usées Brutes

Estimation de la biomasse microbienne et bactérienne dans les échantillons de sol



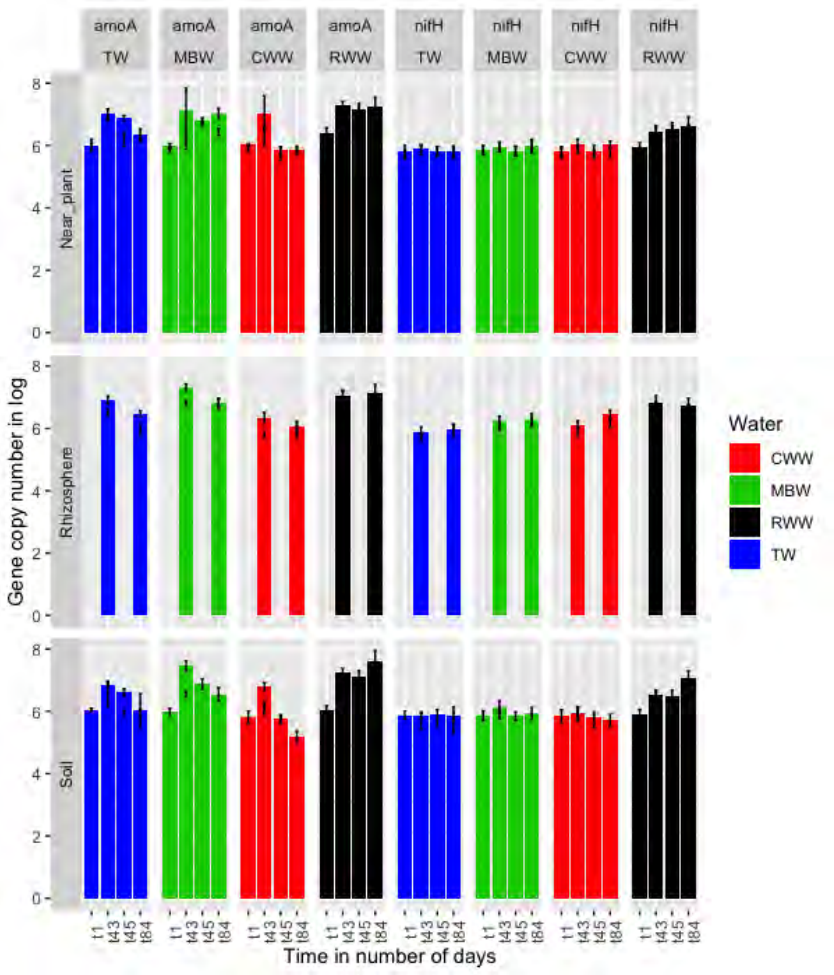
➡ Le traitement de l'eau usée ne va pas augmenter la biomasse bactérienne des sols. L'eau usée brute augmente la biomasse du sol.

Evolution de l'alpha diversité dans les échantillons de sol au cours de la période d'irrigation



- Augmentation de la **richesse** bactérienne dans **tous les sols.**
- L'augmentation a semblé plus importante dans les sols irrigués par les CWW

Evolution de la concentration des gènes fonctionnels bactériens liés au cycle de l'azote



Nitrification augmente au cours du temps pour les **RWW** et **MBW.**

Aucune différence dans la concentration de **narG (dénitrification)** lors de la période d'irrigation

Augmentation de nifH (fixation de l'azote) au cours du temps pour les **RWW.**

Science of The Total Environment
Volume 901, 25 November 2023, 166028

Short-term effect of reclaimed wastewater quality gradient on soil microbiome during irrigation

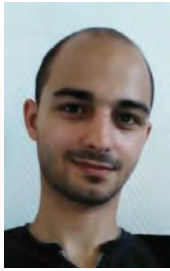
V. Moulia [a b c], N. Ait-Mouheb [b], G. Lesage [a], J. Hamelin [c], N. Wéry [c], V. Bru-Adan [c], L. Kechichian [b], M. Heran [a]

Nathalie Wéry
DR2 INRA LBE

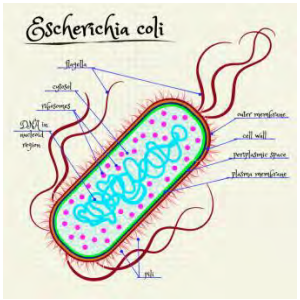
Suivis des contaminants: bactériologiques

Dégradation de la qualité microbiologique lors du transport ou du stockage? Recroissances?

Focus sur les biofilms dans les goutteurs



Kévin Lequette
Doctorant



CONTAMINANTS :
- **Eaux brutes**
- **Eaux sortie de lagunage**

Continuum Eau/Sol/Plante

- Transferts au sol / à la plante / aux eaux de drainage
- Cinétiques d'inactivation dans le sol

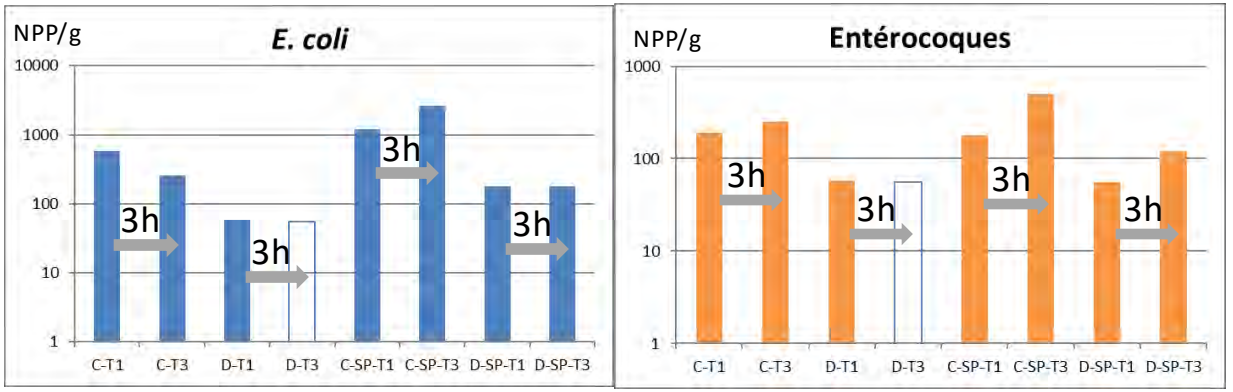
MODIFICATIONS DU MICROBIOME DU SOL :
- Eaux brutes
- Eaux sortie de lagunage
- Eaux sortie de BRM
- Eaux sortie UV
- Eaux claires

Séquençage Illumina pour analyse de la diversité bactérienne en cours

Suivis des contaminants: bactériologiques

Premiers résultats sur les contaminants: Eaux usées brutes

- Faible inactivation de *E. coli* et des entérocoques dans le sol en 3h



Eaux brutes

- Transfert de *E. coli* **aux racines de salades** (2 lots) et de poireaux (1 lot) (10-1900 ufc/g), pas de détection des entérocoques

- Un échantillon **de feuilles de salades** contaminé en entérocoques sur les 2 lots analysés

Irrigation du vignoble à Murviel Lès Montpellier: Indicateurs pathogènes dans le raisin en 2022

NIVEAUX DE QUALITÉ SANITAIRES DES EAUX USÉES TRAITÉES

Quatre niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D) sont définis comme suit :

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/L)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/L)	< 60			
Escherichia coli (UFC/100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2

French water reuse Minimum quality

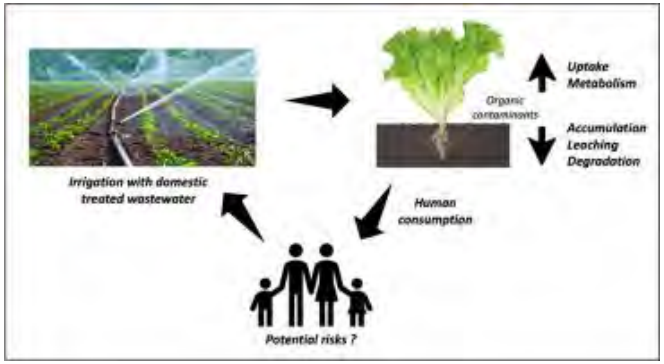
	Analyses externes (Eurofins hydrology)			
	Spores of sulfate-reducing bacteria	Escherichia coli	Bactériophages ARN-F	Enterococci
	log(CFU/ml)	log(CFU/100ml)	log(UFP/100ml)	log(CFU/100ml)
Analyses sur les eaux usées traitées	3,0 ± 1,1	3,6 ± 1,0	1,5 ± 1,0	2,8 ± 1,3

Aucune détection dans les raisins de divers indicateurs pathogènes (résultats préliminaires, année 2022) : Escherichia coli, Bactéries anaérobies sulfato-réductrices, Bacillus Listeria monocytogène, Salmonella, Spores de bactéries sulfato-réductrices, Staphylocoques, Streptocoques..

Absorptions et transferts des produits pharmaceutiques

Compartiments sols et plantes

- **Objectif:** suivre dans le temps le transfert des polluants pharmaceutiques dans le sol et plantes (laitues et poireaux) dans des conditions de terrain

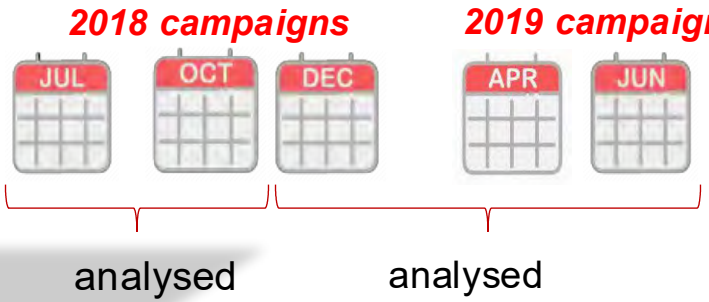


List of compounds:

1. *Climbazole*
2. *Ciprofloxacine*
3. *Sulfamethoxazole*
4. *Citalopram*
5. *Acesulfame K*
6. *Sucralose*
7. *Diclofenac*
8. *Valsartan*
9. *Ibersartan*
10. *Benzotriazole*
11. *Carbamazepine*
12. *Metropolol*
13. *Hydrochlorothiazide*
14. *Clarithromycin*

4 types d'eaux d'irrigation:

I. Eau claire
II. Eaux usées brutes
III. Eaux usées traitées (TWW)
IV. TWW dopées (10µg/l)



N-Ait Mouheb-nassim.ait-mouheb@inrae.fr

Absorptions et transferts des produits pharmaceutiques

Compartiments sols et plantes

Journal Pre-proof

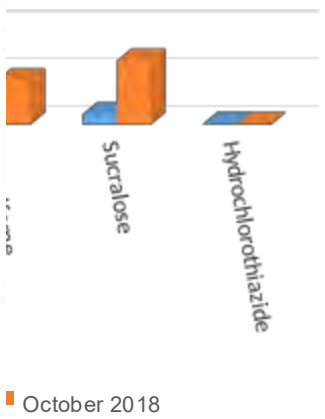
Impact of long-term irrigation with municipal reclaimed wastewater on the uptake and degradation of organic contaminants in lettuce and leek

Rayana Manasfi, Monica Brienza, Nassim Ait-Mouheb, Nicola Montemurro, Sandra Perez, Serge Chiron

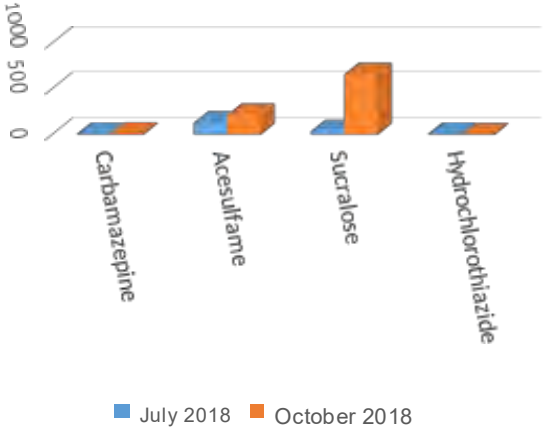
PII: S0048-9697(20)36271-9

DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142742

Treated wastewater

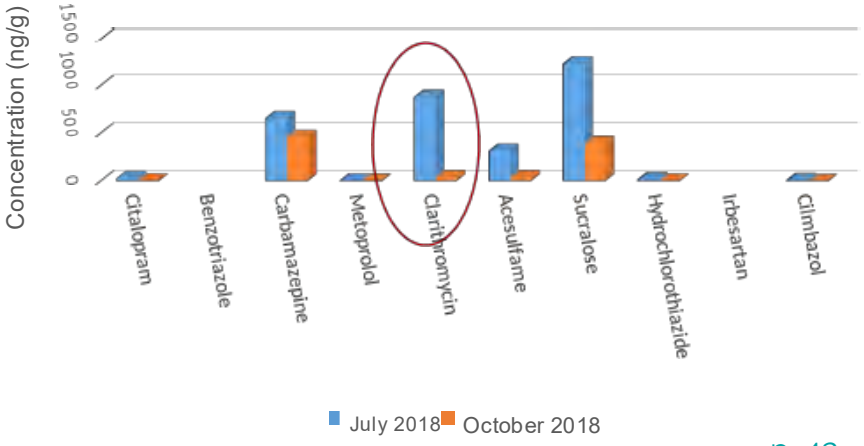


Raw wastewater



- PPs s'accumulent dans le sol avec le temps
- Risque de contamination des eaux souterraines
- La laitue est capable d'absorber les PPs dans les conditions de terrain
- Le taux d'absorption dépend de la présence de PPs dans l'eau, le sol et la saison
- Présence de métabolites dans les feuilles de laitue doit être prise en considération pour une meilleure évaluation des risques

Spiked wastewater



Conclusion

Pourquoi avec de nombreuses incitations et des sécheresses record chaque année. Comme la réutilisation de l'eau n'est pas développée?

Estimations de l'impact des eaux usées dans les bassins versants du Vistre, de la Mosson et du Lez avec les ratios de dilution indiqués en 2017 (rapport Drewes et al 2017).

Quelques hypothèses :

- La concurrence avec d'autres ressources plus accessibles comme les réseaux d'eau brute (BRL, CACG),
- Les eaux usées traitées font déjà partie des eaux de surface (contrôle de l'éco-débit dans les rivières),
- Les débits en sortie de stations sont trop faibles pour être valorisés,
- L'option de réutilisation de l'eau est apparue trop contraignante pour être mise en œuvre (contraintes administratives, exigences spécifiques d'irrigation pour les agriculteurs)
- Le coût économique lors de l'installation et des suivis réglementaires

Merci

Contact: nassim.ait-mouheb@inrae.fr

Réglementation REUSE en France

Tableau 3. - Types de barrières suggérés selon l'application et nombre d'équivalents barrières attribués

Type de barrière	Application	Réduction des agents pathogènes (unités log)	Nombre d'équivalents barrières
Irrigation des cultures vivrières			
Irrigation localisée (sans stagnation de l'eau en surface et sans contact des parties comestibles avec les eaux usées traitées)	Irrigation de cultures basses (à au moins 25 cm au-dessus du sol)	2	1
	Irrigation de cultures hautes (à au moins 50 cm au-dessus du sol)	4	2
	Irrigation souterraine par goutte-à-goutte, lorsque l'eau ne remonte pas à la surface du sol par capillarité	6	3
Bâche résistante aux UV	Dans le cadre de l'irrigation par goutte-à-goutte, lorsque la bâche sépare les eaux d'irrigation des cultures irriguées	2 à 4	1
Inactivation naturelle des agents pathogènes	Inactivation naturelle favorisée par l'arrêt ou l'interruption de l'irrigation avant la récolte	0,5 à 2 par jour (selon les cultures et conditions météorologiques).	1 à 2