



Techniques et Pratiques d'irrigation en Reuse
*Molle, B., Tomas, S., Cornacchia, Y., AitMouheb, N.,
Lequette, K., Rizk, N., Mange, A., Cheviron, B.*

Unité Mixte de Recherche G-eau

Plateforme PReSTI :

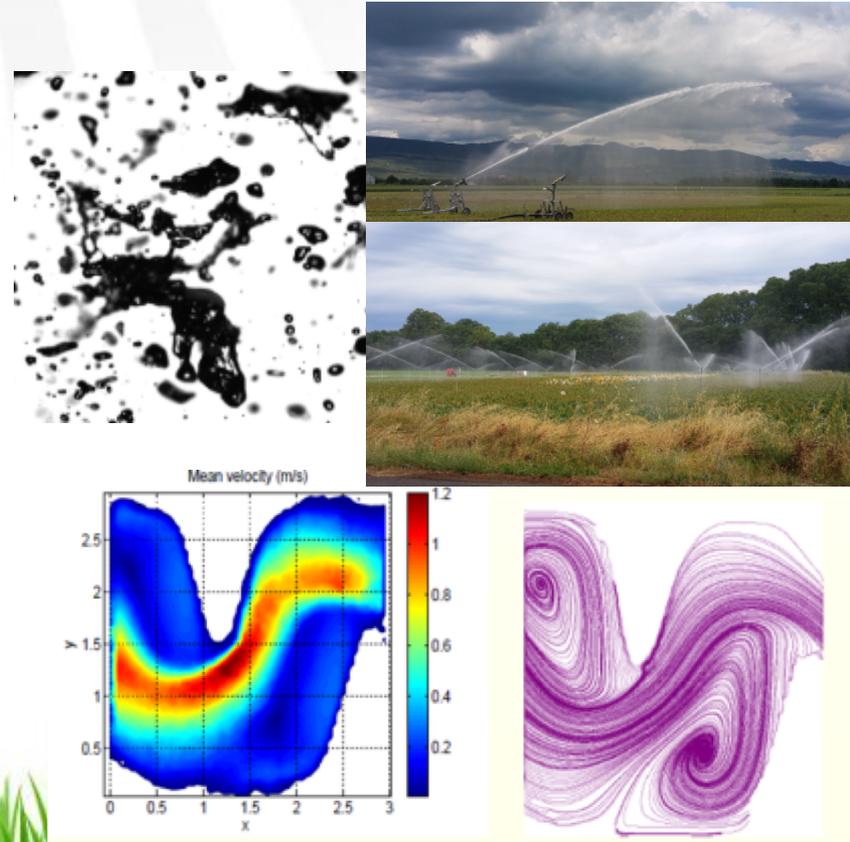
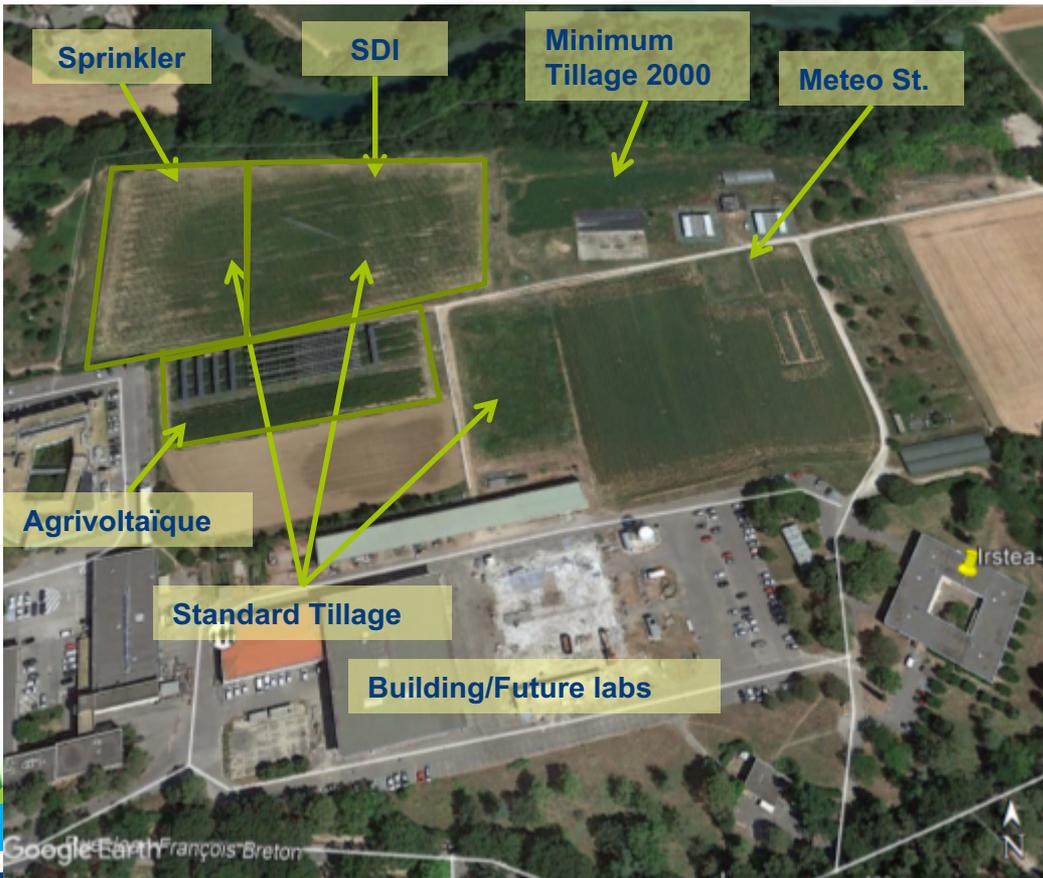
- Technique d'irrigation: combien?

Performance → climat, qualité d'eau

- Pratiques d'irrigation: quand, combien?

Effcience d'application et d'utilisation, plantes

- Montpellier, campus Agropolis
- Personnel: 8 Ing et chercheurs, 2 à 4 PhD, 3 à 5 CDD sur projets
- Parcelles expérimentales: Pratiques d'irrigation
- Laboratoire de test pour l'industrie: Performances techniques



Streamlines and velocity fields in the 5th baffle, Re=400

- Performance de Distribution et Efficience
 - Aspersion et goutte à goutte
 - Tests de matériels en conditions contrôlées, sous protocoles normalisés
 - Aspersion: distribution radiale/spatiale, taille des gouttes, vent
 - Goutte à goutte: courbe $Q=f(P)$, capacité de régulation, homogénéité de fabrication, sensibilité au colmatage minéral



Aspersion: Intensité, Vent et Evaporation

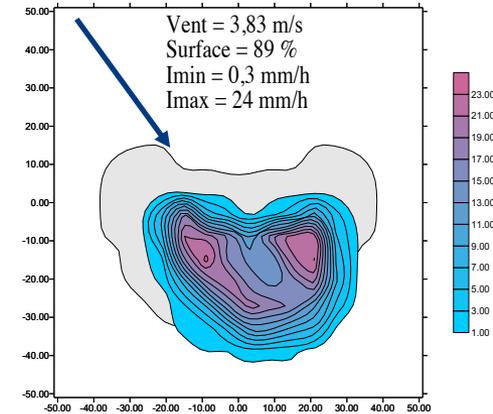


>90% des surface irriguées en Fr	Pivot et rampes frontales	Canon à enrouleur	Couverture intégrale
Echelle	15 à 100 ha	5 à 20 ha	05 à 3 ha
Pression (entrée parcelle)	1.5 à 4.5 bar	6 à 10 bar	3.5 à 7 bar
Efficience	80-90%	75-85%	75-90%
Intensité/Ruissellement	+	++	-
Evaporation/Dérive	+	++	++
Fertigation	Oui	Non/Oui	Oui
Traitement	++	-	+
Irrigation de précision	Oui	Non	Eventuellement
Flexibilité	- à +	++	+++

Irrigation par aspersion avec des eaux usées

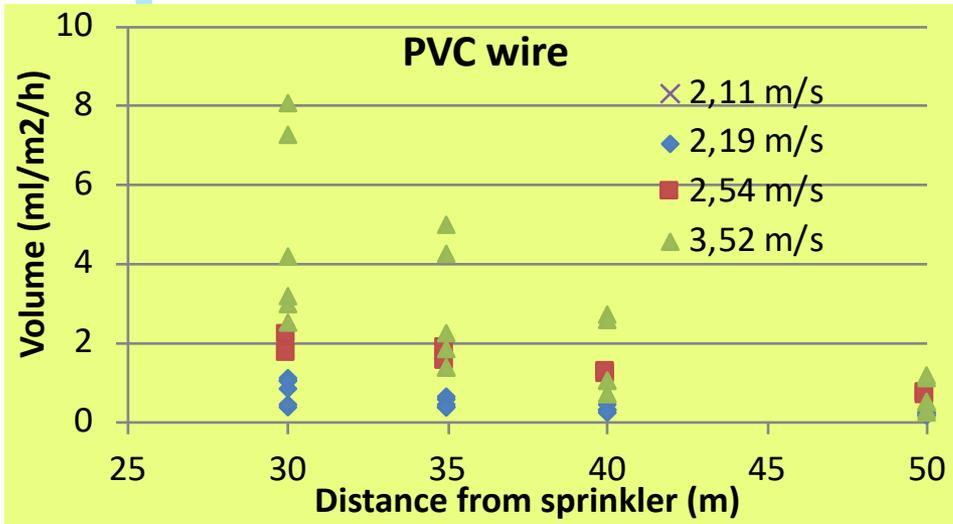
PERFORMANCE IN SITU

- 1° travaux, approche parcelle
 - Optique de conduite de l'irrigation
 - Effets du vent sur la distribution
 - Modélisation empirique, simulation >20années
 - Conseil pratique aux agriculteurs
- Cas des eaux usées traitées
 - La performance = sécurité
 - Qu'advient-il de la dérive?
 - Mesure/Simulation du transport
 - Quel quantité d'aérosols produits?
 - Mesure in situ et en soufflerie
 - Quelle survie dans ces gouttes?
 - Évaluation directe: avec CSTB, cadre expertise ANSES-2012
 - Évaluation indirecte: survie sur les plantes



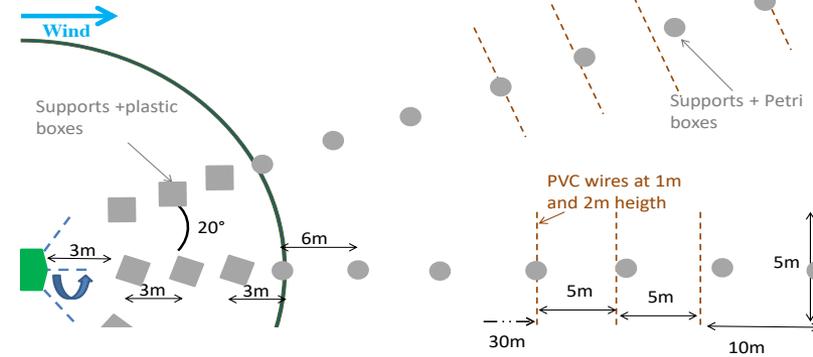
Irrigation par aspersion avec des eaux usées

CONTRIBUTION A L'ÉVALUATION DU RISQUE



Modèle empirique défini à partir de 30 essais:

$$\text{Volume (ml.m}^{-2}\text{.h}^{-1}) = a \cdot Vv(\text{m.s}^{-1})^b \cdot AgIV(^{\circ})^c \cdot \text{Dist(m)}^d \cdot ET0(\text{mm.h}^{-1})^e$$

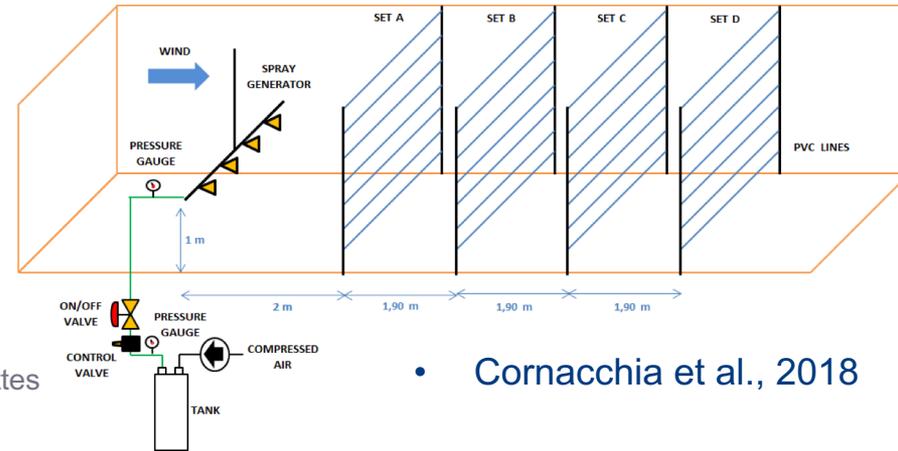


Molle, Tomas et al., 2016

Irrigation par aspersion avec des eaux usées

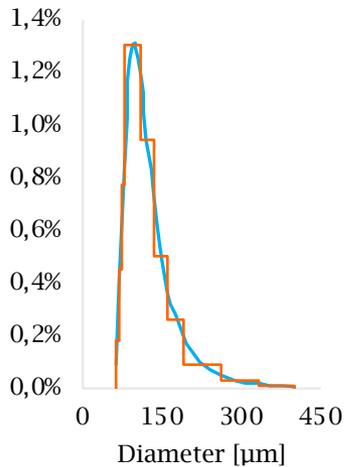
PERFORMANCE IN LAB

- **Wind tunnel:**
 - Diffuseur à 1m du sol, 2 m des fils
 - Granulométrie initiale 110 μm ($\pm 1.7\mu\text{m}$)
 - Température 15°C, 25°C, 35°C
 - Vent 1 m/s – 2 m/s – 3 m/s
- **Modélisation:**
 - Modèle drift-flux simplifié (diffusion scalaire)
 - pimpleDiffFoam13 (pDF13) - 10 classes de gouttes

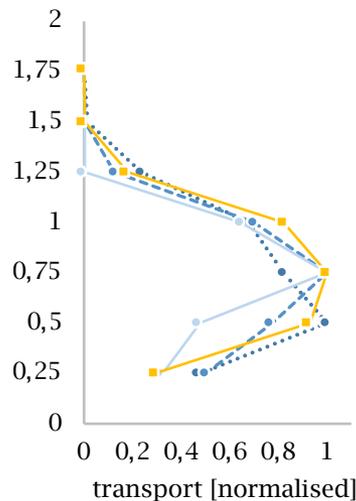


• Cornacchia et al., 2018

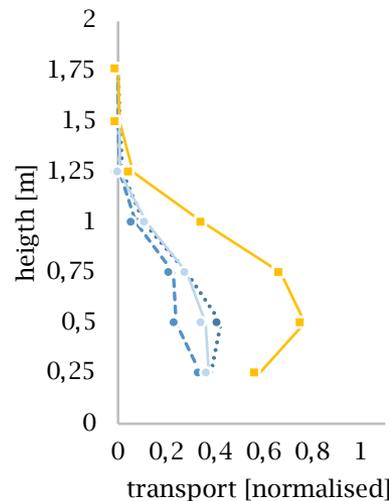
Particle size distribution (V%)



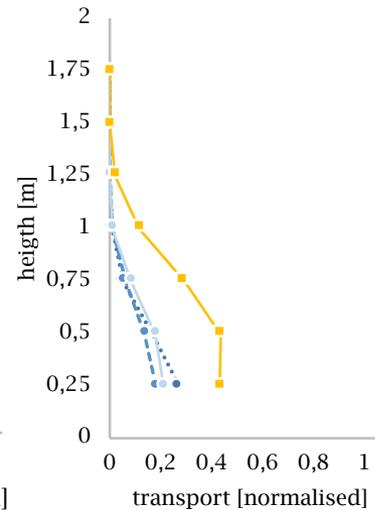
SET A - 1 m s-1



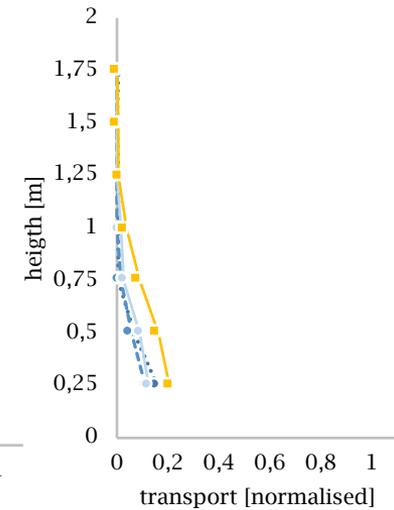
SET B - 1 m s-1



SET C - 1 m s-1



SET D - 1 m s-1



— Rosin-Rammler pdf
— pdf dicrétisée

..... 15°C - - - 25°C
— 35°C — pDF13

..... 15°C - - - 25°C
— 35°C — pDF13

..... 15°C - - - 25°C
— 35°C — pDF13

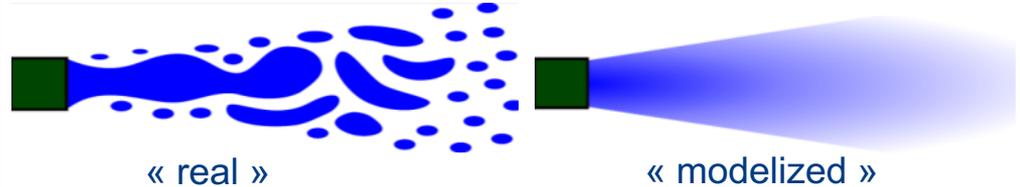
..... 15°C - - - 25°C
— 35°C — pDF13

Aspersation: mécanismes en jeu

- Mécanique de la dispersion d'un jet: modèle/mesures

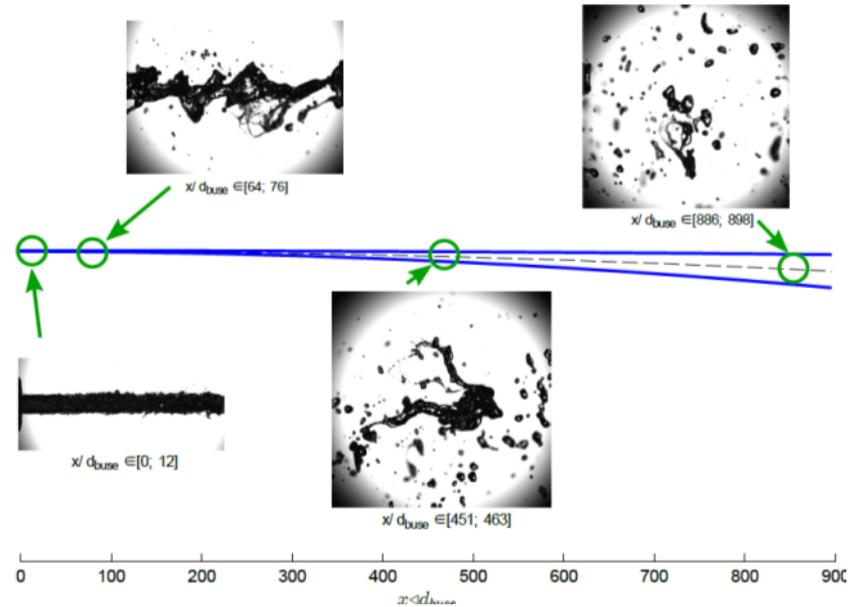


Numerical model using variable density fluid formulation:



Nozzle diameter	4.36 mm
Exit velocity	24 m/s
ρ_l/ρ_g	830
Liquid Reynolds nb	10^5
Liquid Weber nb	$3.6 \cdot 10^4$

Shadowgraphy experiments from liquid core to dispersed phase :



Irrigation par aspersion avec des eaux usées

CONTRIBUTION A L'ÉVALUATION DU RISQUE

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot [(U + V_s)C] = \nabla \cdot [(\varepsilon_p) \nabla C]$$

$$V_s = \frac{\rho_p d_p^2 C_c g}{18\mu}$$

$$d_p^2 - d_{p0}^2 = -K' t$$

C (kg/m^3) : Concentration of water in the air

U (m/s) : Air velocity

V_s (m/s) : Droplets sedimentation velocity

ε_p (m^2/s) : Turbulent Diffusivity

ρ_p (kg.m^{-3}) particle density

d_p (m) diameter

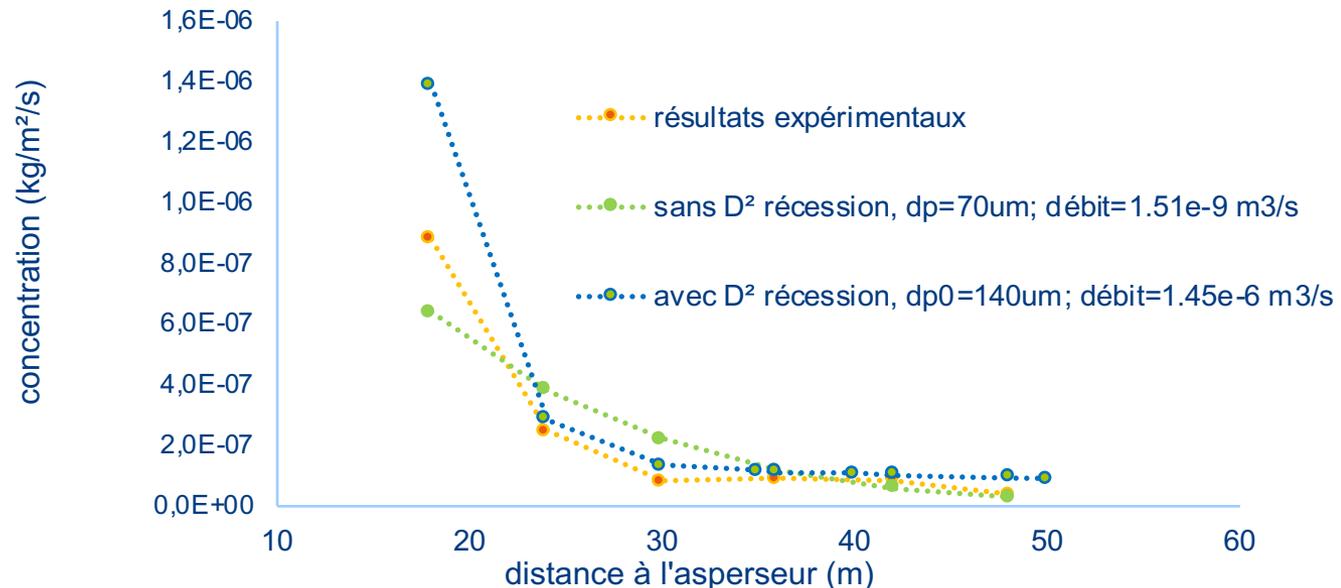
C_c (-) sliding factor

g (m.s^{-2}) gravity

μ (Pa.s) air viscosity

K' : modified vaporisation coefficient (Ranz-Marshall, 1952)

Tomas et al., 2019



Irrigation localisée:



>5% des surface irriguées en Fr	Gaines jetables	Goutte à goutte réutilisable	Microaspersion
Echelle	0.5 à 30ha	0.5 à 20 ha	0.5 à 5 ha
Pression (entrée parcelle)	1.5 à 2.5 bar	2.5 à 4.0 bar	2.5 à 4 bar
Efficience	80-90%	85-95%	85-90%
Intensité/Ruissellement	-	-	-
Fragilité/Sensibilité	+++	++	+
Fertigation	Oui	Oui	Oui
Traitement	+	+	-
Irrigation de précision	Non	Non	Non
Flexibilité	+	++	+

Irrigation localisée avec des eaux usées

PERFORMANCE IN SITU

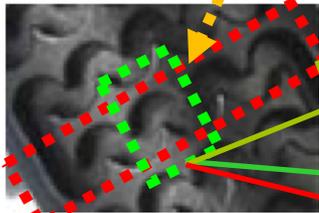
- 1° travaux, approches labo
 - Optique de sélection des équipements
 - Effets de la qualité de l'eau sur le vieillissement
 - Conseil pratique aux agriculteurs
- Cas des eaux usées traitées
 - La performance = durabilité et sécurité
 - Eaux nutritives et porteuse de polluants
 - Mesure/Simulation de l'écoulement
 - Comportement avec eaux nutritives
 - Biofilm, précipitation, dépôts
 - Survie / Dissémination de pathogènes



Irrigation localisée et Eaux usées

APPROCHES MÉCANIQUES ET EXPÉRIMENTALES

- Fonctionnement hydrodynamique
 - Écoulement en micro-canaux
 - Transports solides et précipitation



Numerical simulation

Optical method

Tests with particles



CFD: RSM

Al-Muhammad, et al 2018

Al Muhammad et al 2016

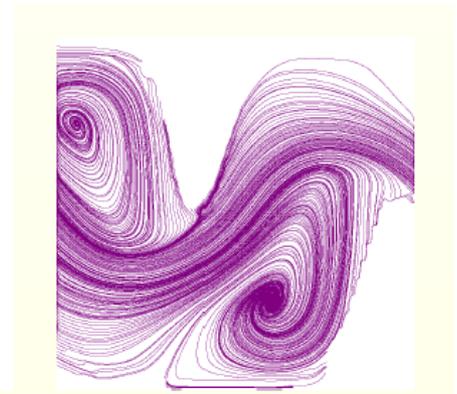
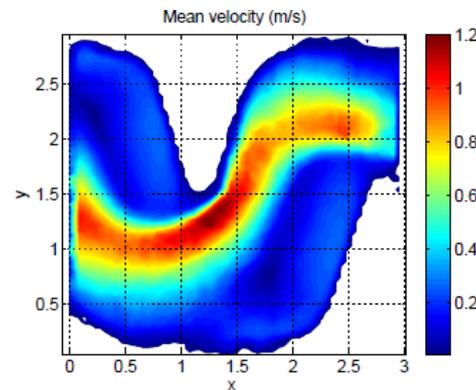
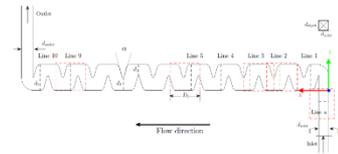
1.4 L/h ($Re=400$) \rightarrow Shear stress 2.2 Pa

2.8L/h ($Re=800$) \rightarrow Shear stress 4.4 Pa

L'écoulement est turbulent malgré les faibles Reynolds

Les calculs se rapprochent des mesures avec le modèle RSM (Reynold Stress Model) en 3D

Le flux se stabilise après la 3^e chicane: Mesure / Calcul $Re=800$



Irrigation localisée et Eaux usées

APPROCHES MÉCANIQUES ET EXPÉRIMENTALES

- Sensibilité au colmatage, et cinétiques de vieillissement
 - Développement de biofilm et écoulements

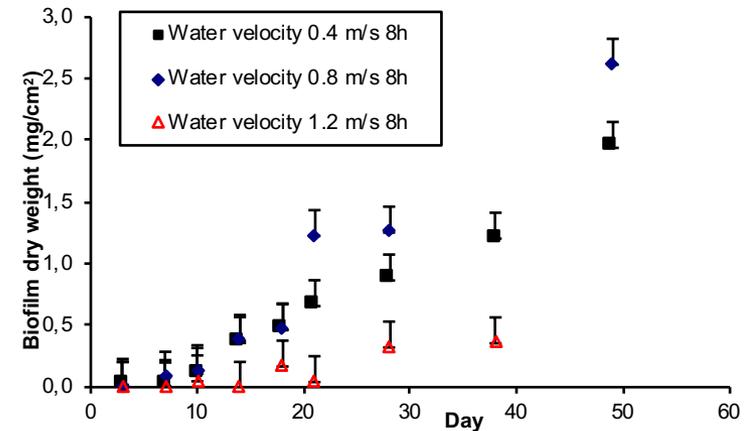


Gamri et al. 2014: étude du développement du biofilm dans des tubes

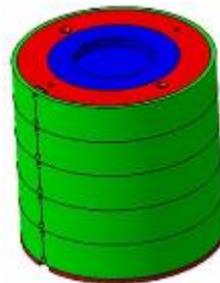
- 0.4 m/s (Re= 5700) → Shear stress 0.7 Pa
- 0.8 m/s (Re=11500) → Shear stress 2.2 Pa
- 1.2 m/s (Re=17200) → Shear stress 4.4 Pa
- Temps d'initiation du biofilm 3 semaines



Rizk et al. 2018: 3 niveaux de cisaillement: 0.7 Pa, 2.2 Pa and 4.4 Pa en réacteur Couette, Eau Usée Usée réelle DCO 30mg/l, puis Eau Usée

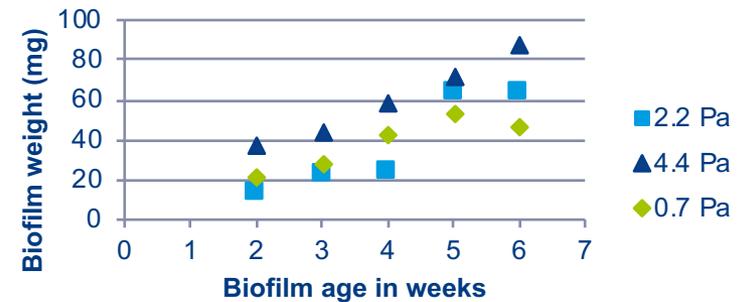


Turbulent Taylor Vortex flow (TTV) regime



Inner cylinder

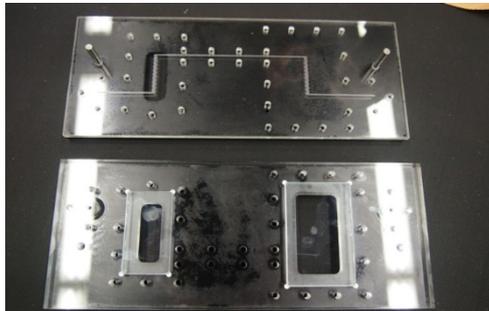
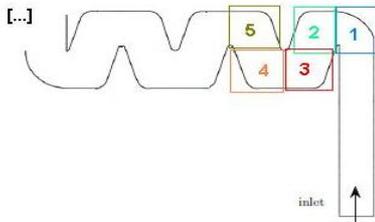
Effect of shear stress on biofilm development



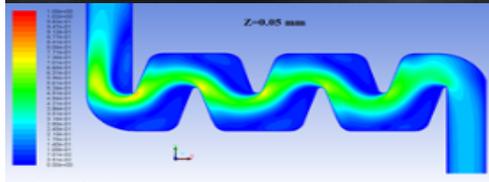
Irrigation localisée et Eaux usées

APPROCHES MÉCANIQUES ET EXPÉRIMENTALES

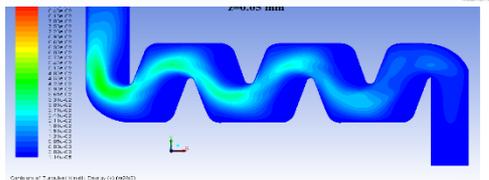
- Sensibilité au colmatage, et cinétiques de vieillissement
 - Dépôts d'argile et salinité



kaolin : zone n°39 (chicane n°9) (t=76h)



Vitesse de fluide et Energie cinétique turbulente dans un canal de goutteur
 $Re = 400$,
 Al-Muhammad J et al. 2014



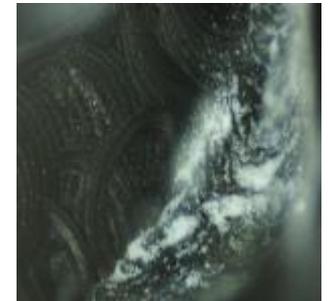
Ait Mouheb et al., 2019

kaolin et bentonite sans NaCl

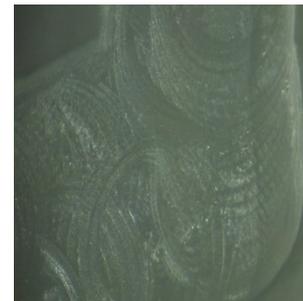
kaolin et bentonite avec $10^{-2}M$ NaCl



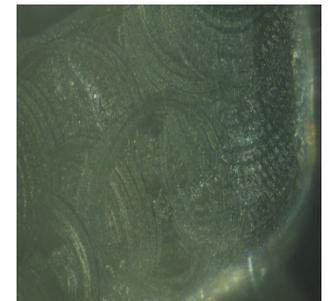
Kaolin : zone n°3 (chicane n°1) (t=52h)



Kaolin +NaCl : zone n°3 (chicane n°1) (t=52h)



Bentonite Zone 3 (chicane n01) à t=165h



Bentonite + NaCl: Zone 3 (chicane n01) à t=165h

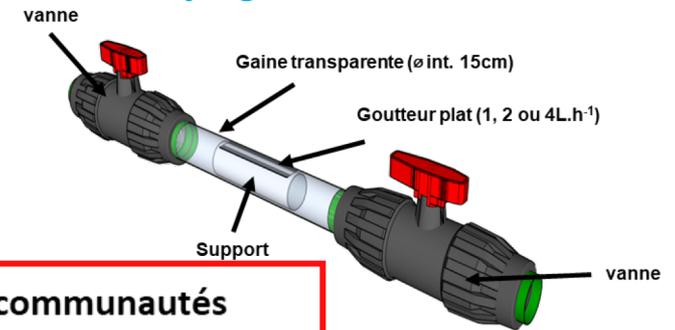
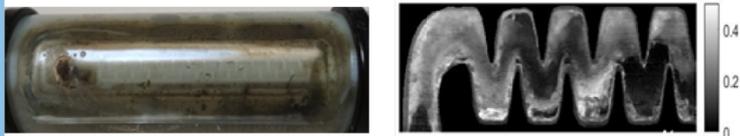
Irrigation localisée et Eaux usées

APPROCHES MÉCANIQUES ET EXPÉRIMENTALES

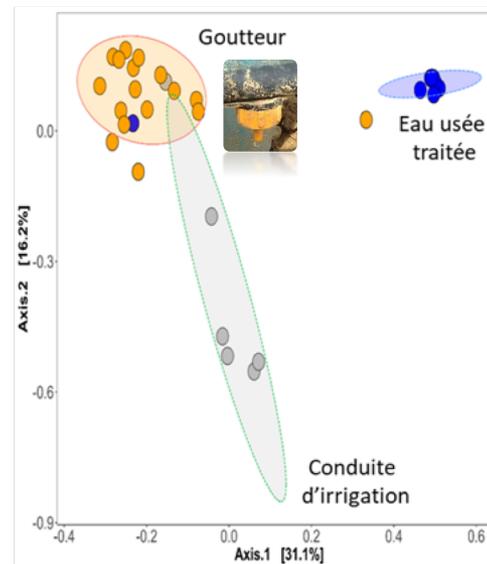
- Cinétiques de développement, caractérisation des communautés microbiennes et méthodes de nettoyage



Suivi optique par Tomographie en Cohérence Optique



Caractérisation des communautés microbiennes par Séquençage Haut-débit



Pression de fonctionnement: 0.8 bar

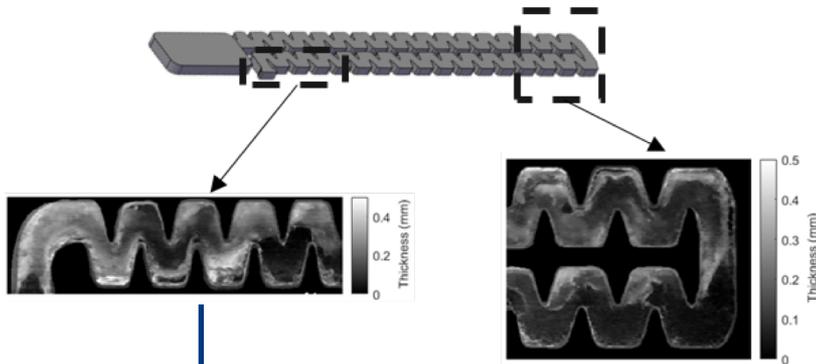
Lequette et al. (2019)

Irrigation localisée et Eaux usées

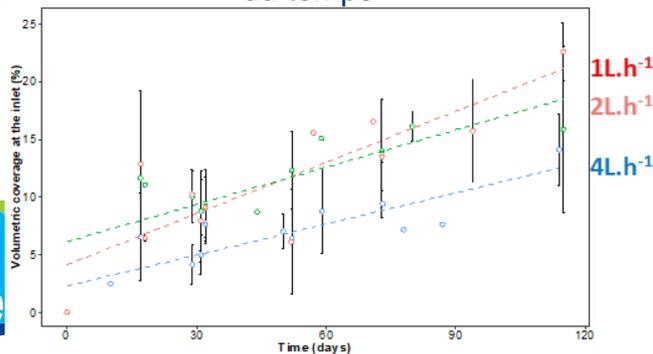
APPROCHES MÉCANIQUES ET EXPÉRIMENTALES

- Cinétiques de développement dans le goutteur

Zones préférentielles de développement

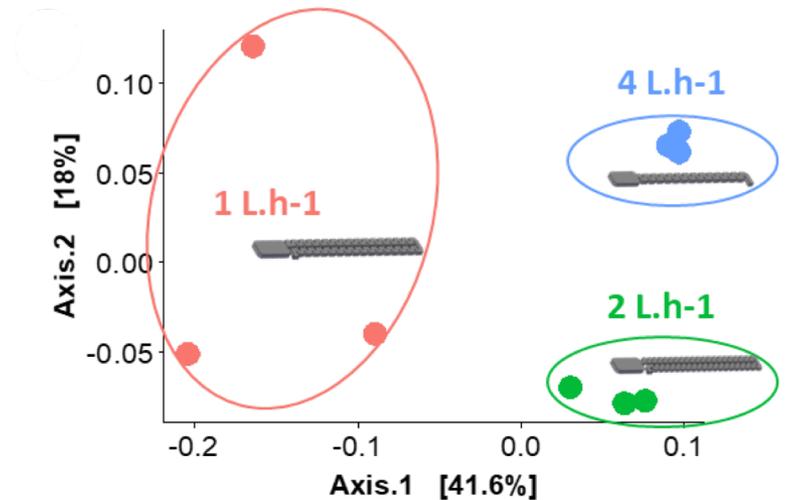


Evolution du volume de biofilm au cours du temps



- Communautés bactériennes différentes
 - Entre les **goutteurs** et le reste de la conduite d'irrigation (Lequette et al., 2019)
 - Entre les différents types de goutteurs

Assemblage des communautés bactériennes en fonction du goutteur

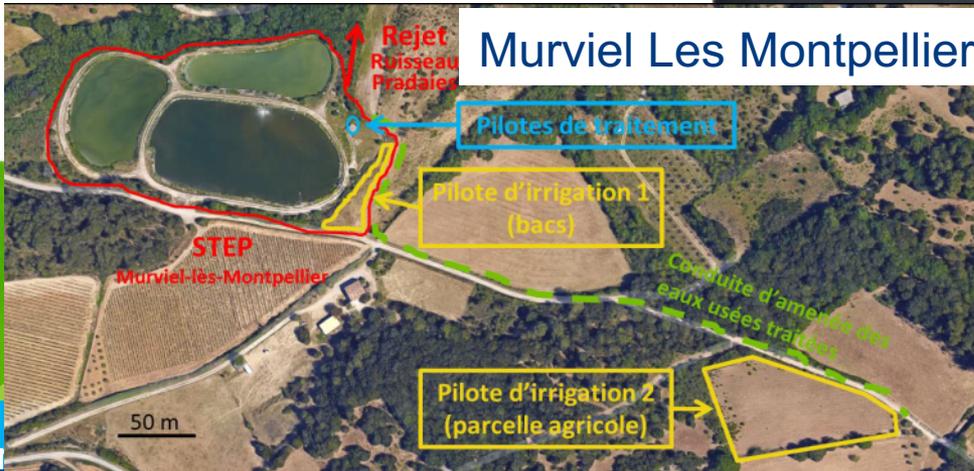


- Présence de genres bactériens à **risques sanitaires** (ex. *Légionelles*, *Pseudomonas*)

Réutilisation d'eaux usées traitées: approches expérimentales



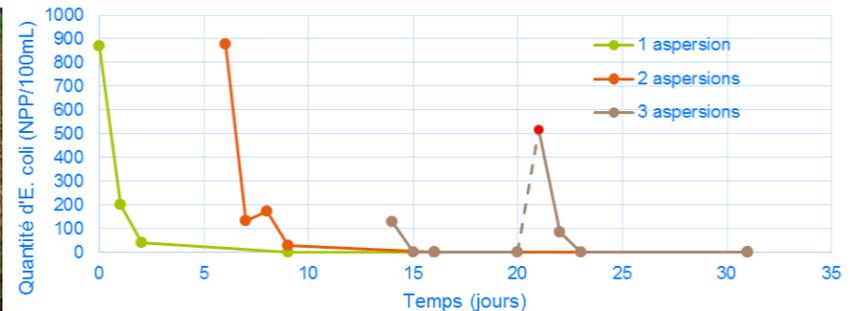
- Contexte d'agriculture Méditerranéenne (Montpellier et Provence)
- Parcelle et bacs sous serre
- Maitrise des dangers: dispersion, recroissance, polluants, micropolluants
- Maintenance des systèmes
- Traitement tertiaire
- Approches sociales: perception, communication



Irrigation par aspersion avec des eaux usées

SURVIE DE PATHOGÈNES PROJET READ'APT AVEC SCP

- Première approche CSTB 2011: tunnel, conditions contrôlées
- Survie de pathogènes - aspersion: conditions contrôlées (2018, serre)
 - Blé sous serre, irrigation avec eau contaminée (13mm chacune), microasperseurs 41 l/h
 - Quantité d'eau reçues par les feuilles; Analyse bactério IDEXX; 3 répétitions
 - Disparition rapide des E.Coli
 - Chute de 2 à 4log des entérocoques lors de l'aspersion, puis remontée autour de 3log
 - Coliformes totaux remontent de 2log (de 4 à 6 log) 3j après arrosage (autre origine?)
 - Poursuite des mesures en 2019 avec SCP



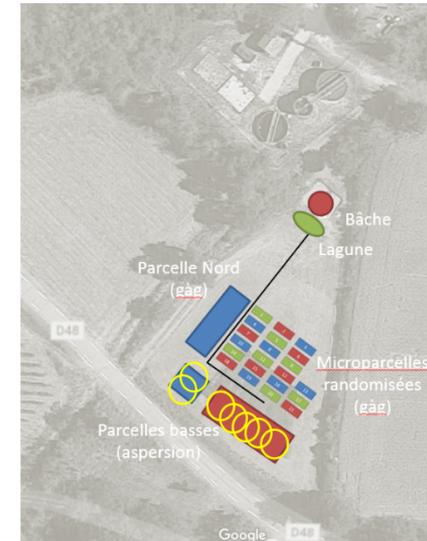
Irrigation localisée et Eaux usées

SURVIE DE PATHOGÈNES READ'APT AVEC SCP

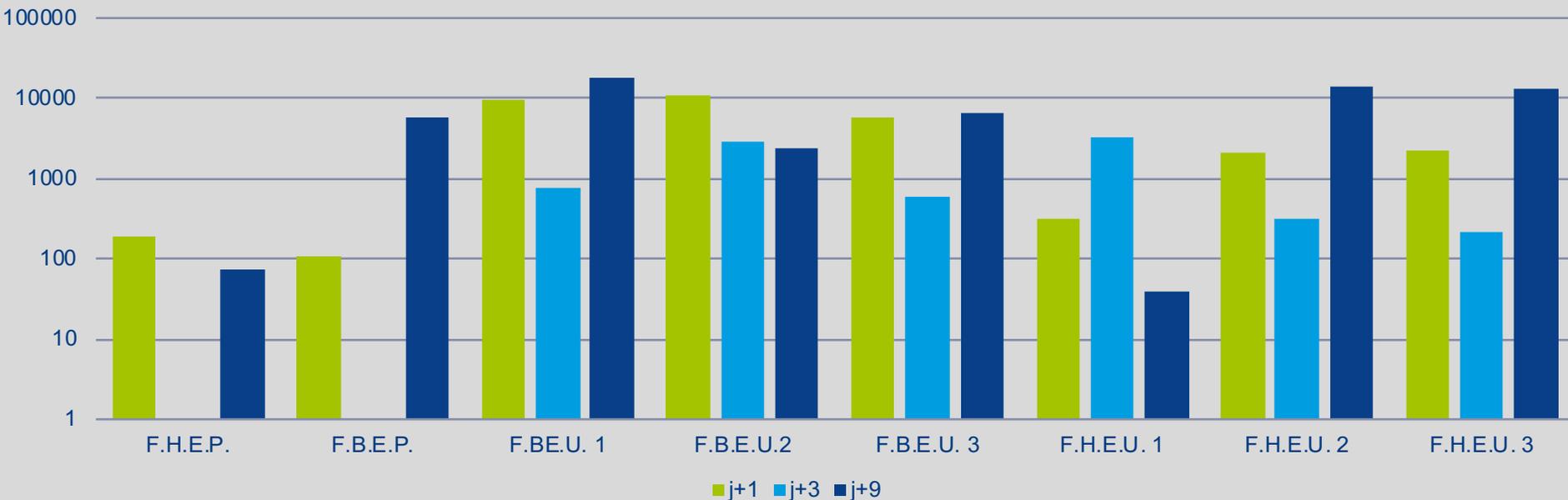
- **Conditions testées**

- Culture 2018 = Blé dur
 - En 2019: Courge
- 3 types d'eau testés (EP, EUT 2^{aire}, EUT 3^{aire} lagune)
- Goutte à goutte 0,6 L/h et aspersion 250 L/h (5m x 5m)
- Analyse de résidus microbiologiques sur plantes après 3 irrigations par aspersion, à J+1, J+3 et J+9
- Analyses eau + feuilles hautes FH et basses FB + sol

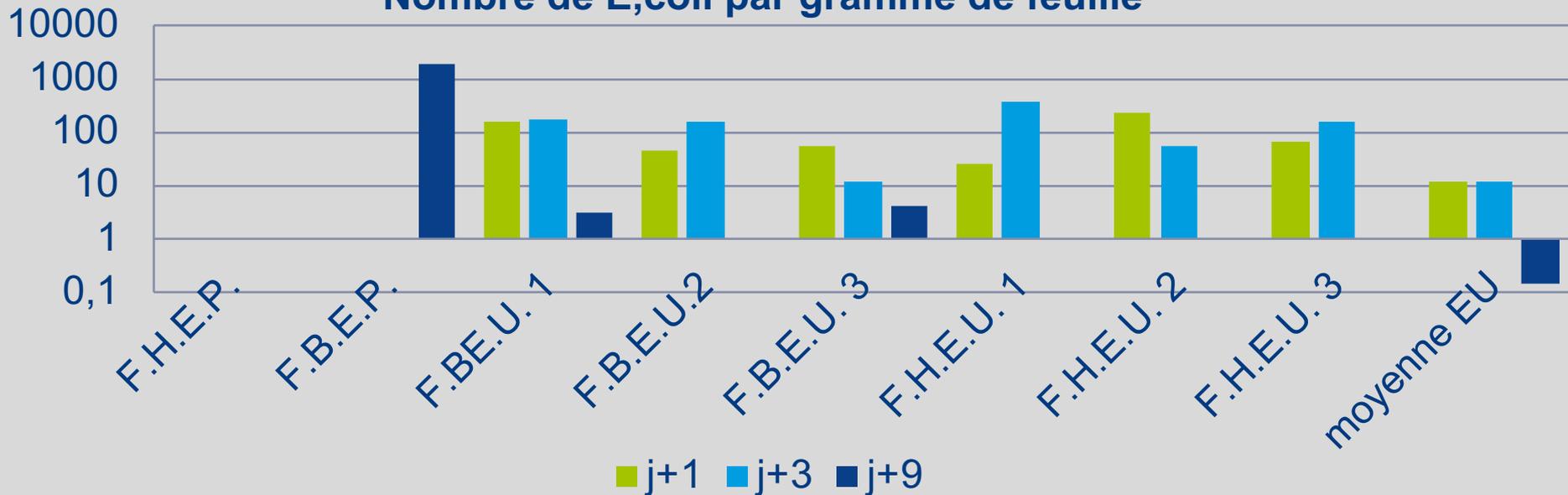
- Eau potable
- Eau secondaire (bâche)
- Eau tertiaire (lagune)



Nombre de coliformes par gramme de feuille



Nombre de E,coli par gramme de feuille

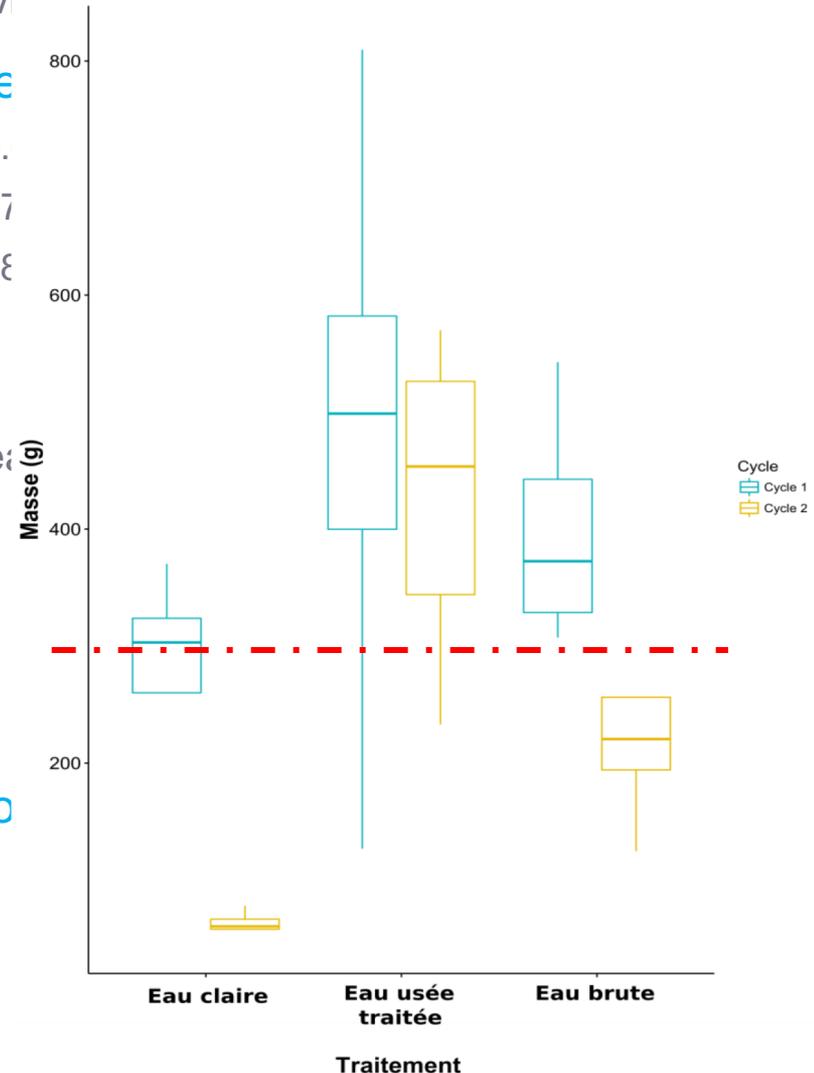


Irrigation localisée et Eaux usées

EXPÉRIMENTATIONS MURVIEL LES MONTBEILLIERS



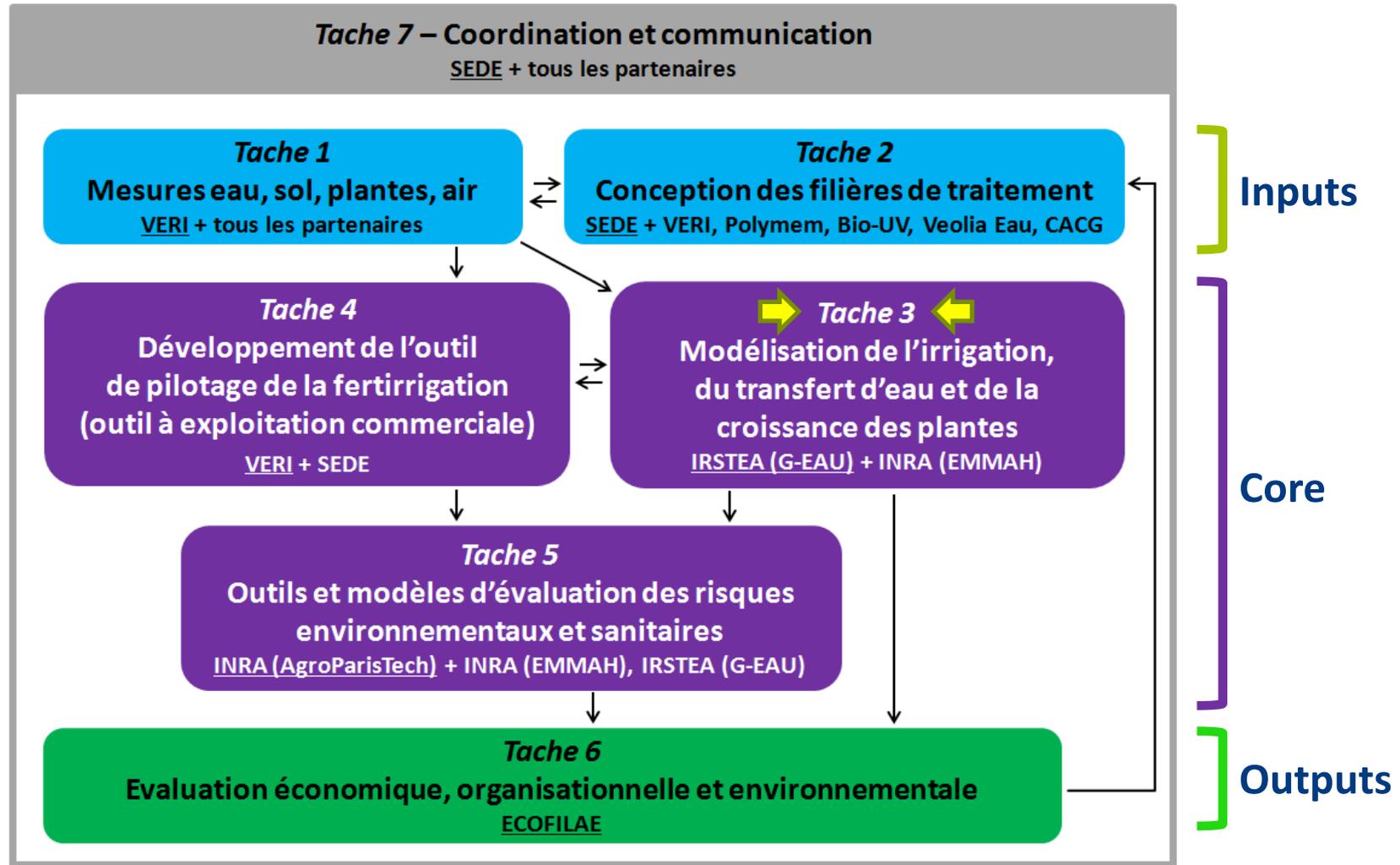
- Salades et poireaux, suivi hydrique et nutritionnel
 - Eau potable: N=0.8mg/l, P=0.1
 - Eau usée traitée: N=28.8mg/l, P=7.5
 - Eau brute: N=33.6mg/l, P=8.5
- Bacs de 1m², 70cm de profondeur
 - Sol argilo-limoneux
 - Résultats salade (idem pour les poireaux)
 - CE: cycle 1, problème de rouille de la roue de pompe
 - Na: baisse en cycle 2 à la suite d'un remaniement du sol
 - Cl: Accumulation observable
- Manip se poursuivent (2) cycle en cours



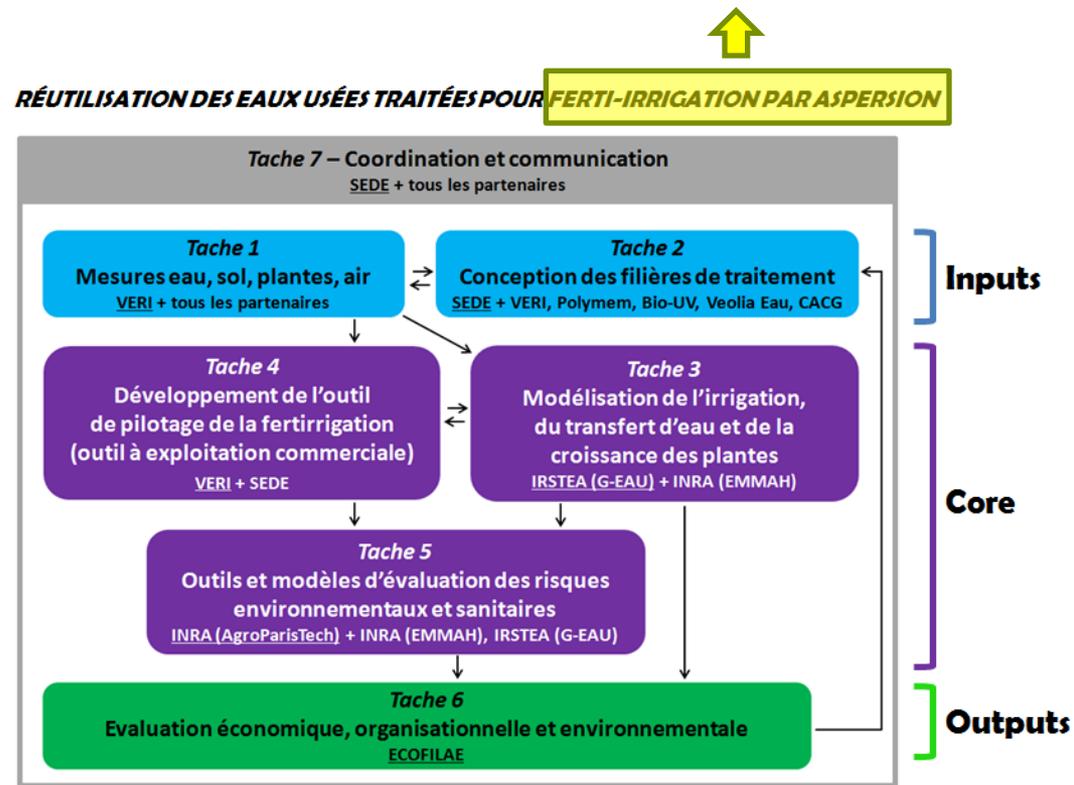
EU EB

T

RÉUTILISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES POUR FERTI-IRRIGATION PAR ASPERSION



Sans précédent en aspersion : dérogation pour expérimentations
Demande autorisation préfectorale, rédaction document pour ANSES
Questions d'acceptabilité et nombreuses réunions publiques
Questions sur la toxicité des formes de l'azote dans la fertilisation
Questions sur les concentrations dans l'aspersion et dans "la brume"

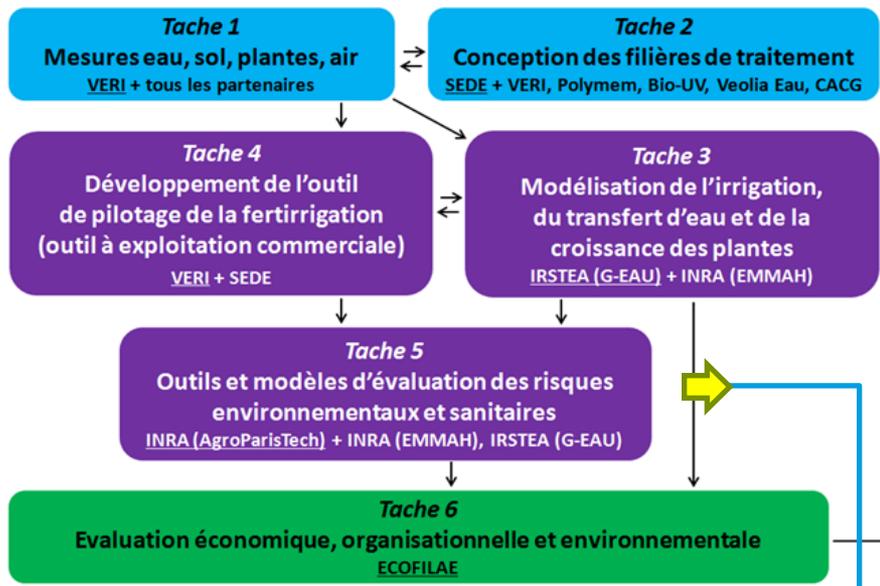


Points chauds, enjeux scientifiques et enjeux stratégiques

RÉUTILISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES POUR FERTI-IRRIGATION PAR ASPERSION

Tache 7 – Coordination et communication

SEDE + tous les partenaires



Inputs

Core

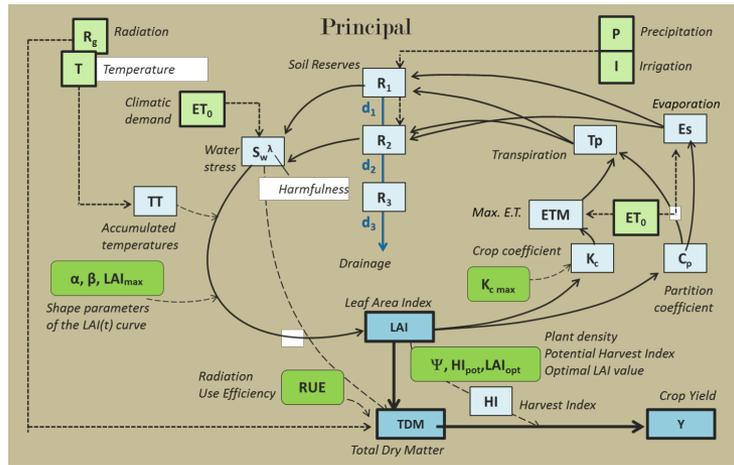
Outputs



Description simplifiée des processus à faire rentrer dans Optirrig

- Instrumentation
- Modélisation
- Optimisation
- Contrôle-commande
- Solutions Logiciel

Travaux détaillés sur la dérive du périmètre mouillé et surtout le transport des aérosols





Irrigation avec des Eaux usées

QUELQUES CONCLUSIONS

- **Approches nécessairement intégrées**
 - Nombreuses interactions physiques/chimiques/biologiques
 - Choix des techniques: maîtrise du risque et des impacts
 - Choix des pratiques: exposition au risques
 - Conséquences financières et économiques
 - ACB: bénéfice privé et pour la société
 - ACV: impacts induits au-delà des impacts primaires
- **Renforcement de la réglementation**
 - S'insurger ne sert à rien ou presque
 - Mieux distinguer utilisations alimentaires ou non
 - Mieux utiliser / caractériser le filtre environnemental
- **Séparer à la source: un changement qui s'imposera**
 - Approches techniques et sol en cours de réutilisation des urines



UMR Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages (G-EAU)

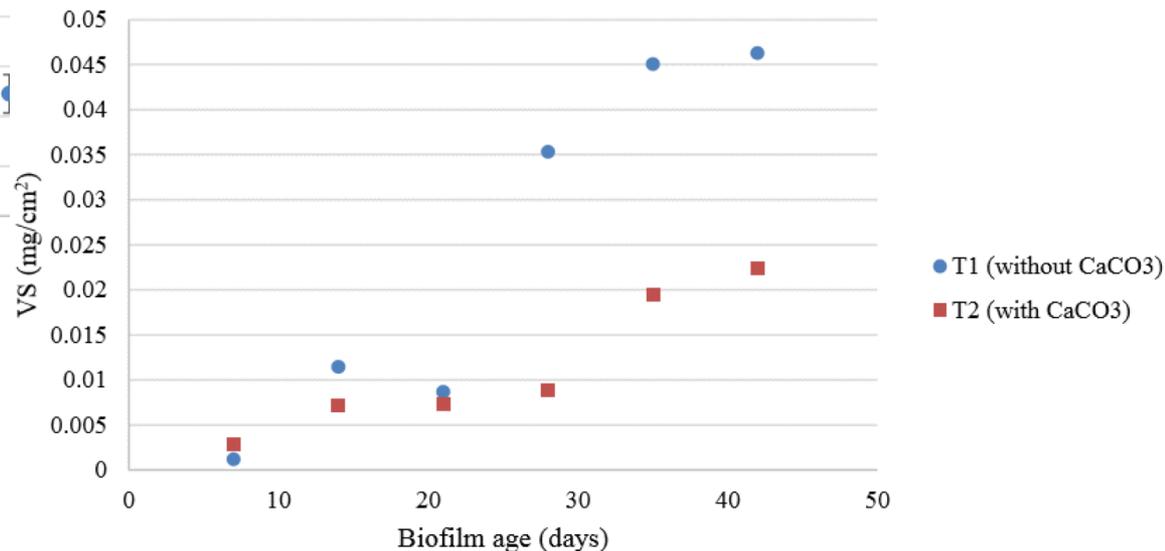
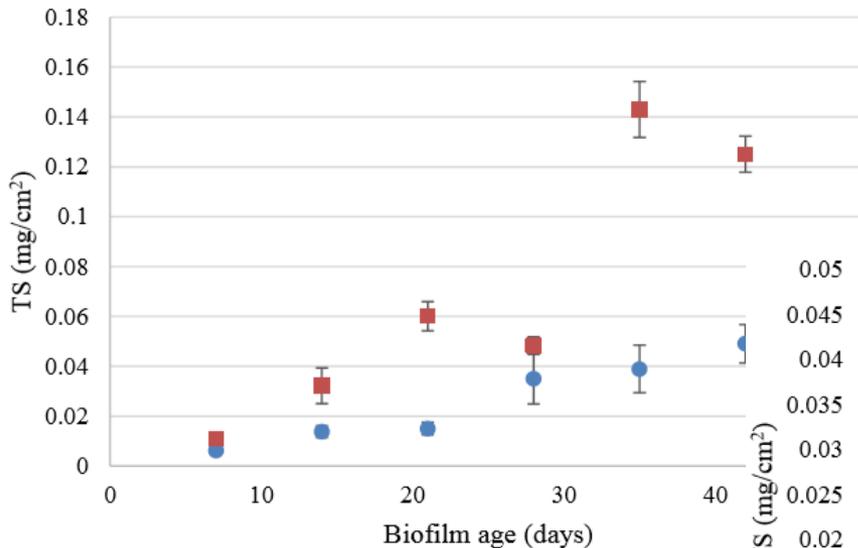
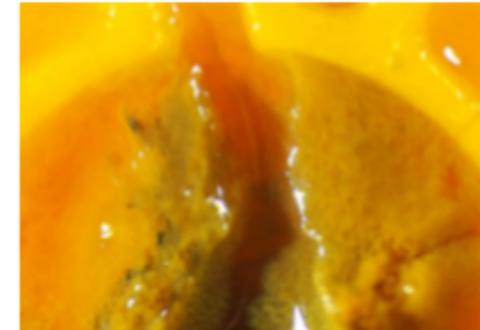
Vers une gestion adaptative des territoires hydrologiques



Irrigation localisée et Ea

APPROCHES MÉCANIQUES ET EXP

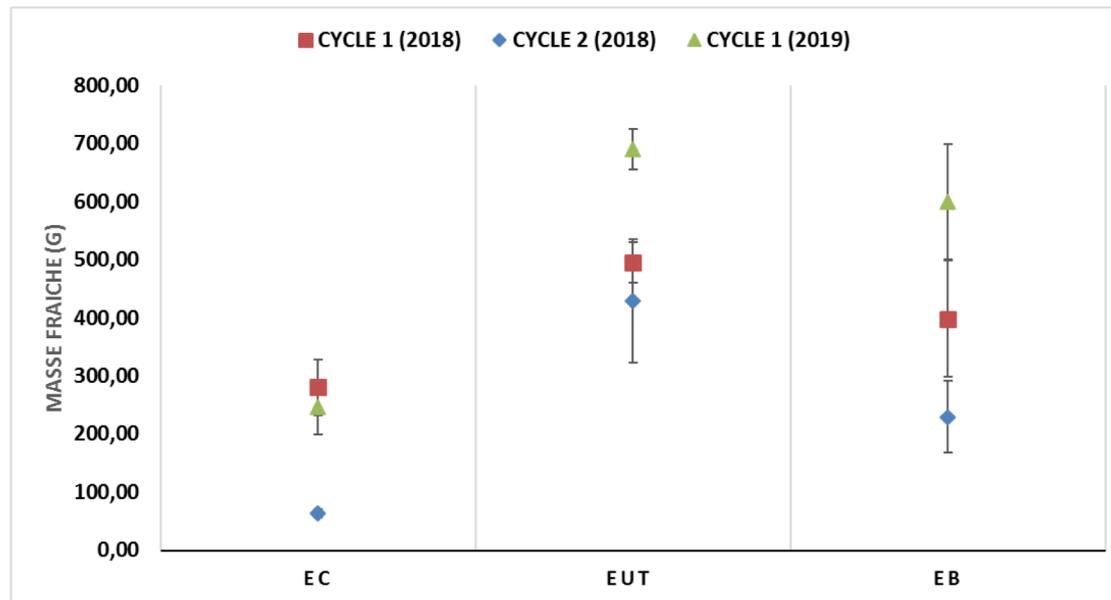
- Sensibilité au, et cinétiques de vieillissement
 - Précipitation dans les goutteurs:
 - Principalement de la calcite ($t > 5^{\circ}\text{C}$)
 - Nuit au développement du biofilm



Irrigation localisée et Eaux usées

APPROCHES EXPÉRIMENTALES

- Premiers résultats 2019
 - Rendements des salades similaires à 2018



- Azote dans les feuilles des salades :
 - EP : 23.46 mg/g de Matière Sèche
 - EUT : 30.68 mg/g MS
 - EB : 33.67 mg/g MS



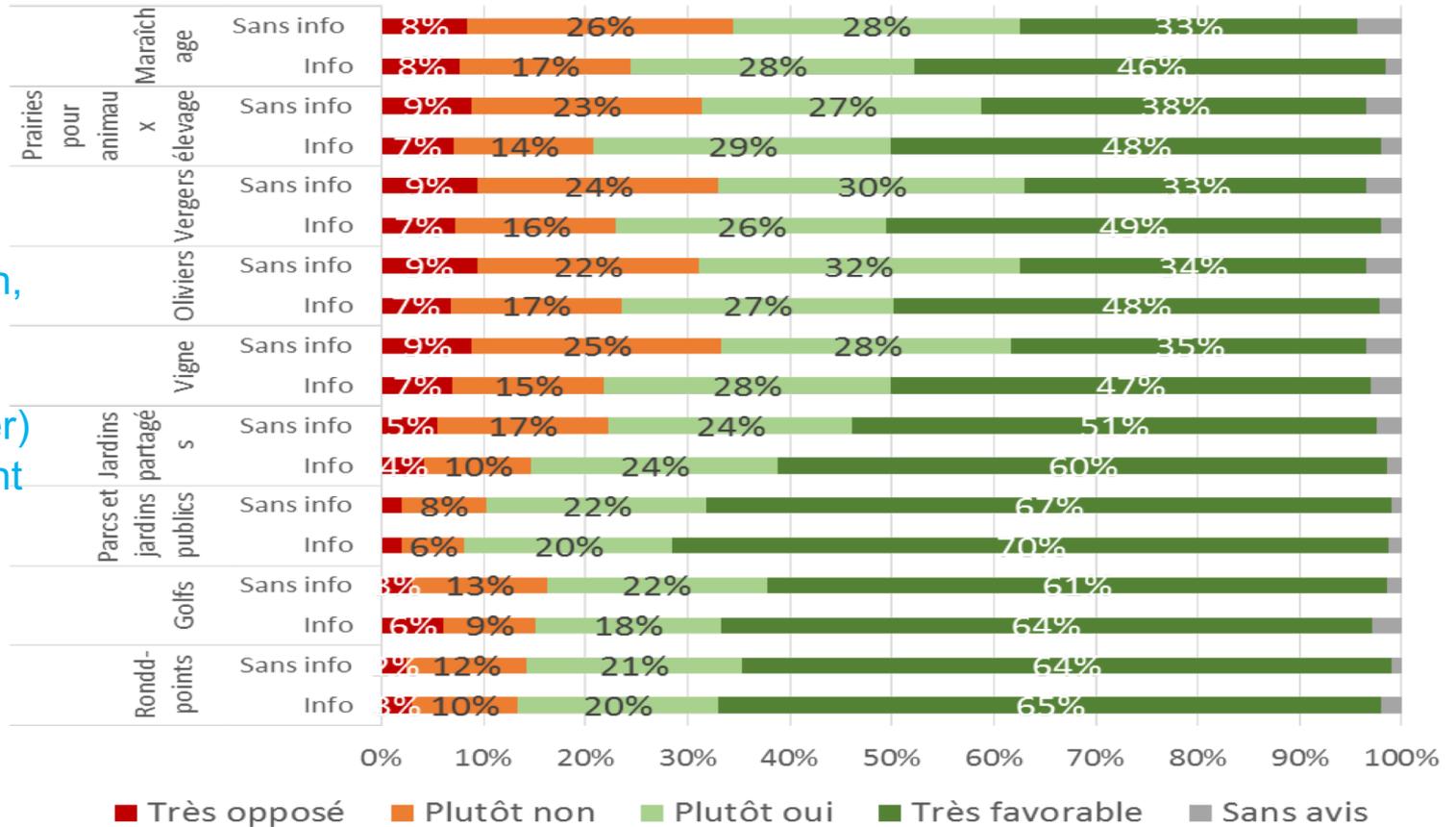
Recherche en sciences sociales en REUSE (projet Sopol)

1. Évaluation de l'attitudes des consommateurs et de leur comportement vis à vis de différents usages:
 1. Irrigation fruit & légumes, pâturage, jardins publics...)
2. Demande en eau:
 1. Analyse coût-bénéfices
 2. Profitability: privée, sociétale

		Rentabilité financière	
		+	-
Rentabilité économique	+	Réalisable sans intervention	Projet à aider
	-	Projet à dissuader	Non réalisable

3. Analyse des débats politiques locaux, émergence de la reuse comme une alternative possible/acceptée

Perception du public de la Reuse pour différents usages



205 personnes sans information, 641 personnes informées brièvement (flyer) zone du Pic saint loup

Wat A Game – Reuse: supporter le débat dans les territoires

