

# Impact agronomique de différentes qualités d'eaux d'irrigation sur une culture de laitues et suivi de la diffusion de l'humidité dans le sol

**Loïc Kechichian**

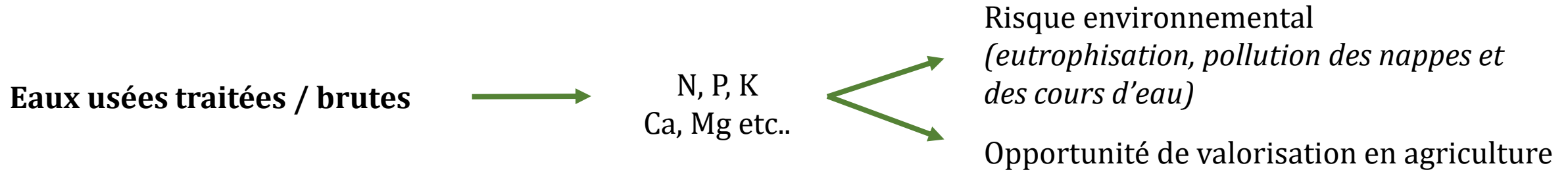
**Master 2 Sciences de l'Eau – Eau & Agriculture**

**Stage effectué entre février et juillet 2021**

Encadrants : Nassim Ait-Mouheb (UMR G-EAU)

Jérôme Harmand (LBE)

> **Contexte et émergence des questions**



Projet  
**Control4reuse**

**Enjeux de modélisation** pour la **modulation du traitement**  
des eaux en fonction des besoins des plantes

**Questions :**

Quel est le potentiel de fertilisation des eaux usées traitées ?

Quels sont les risques pour un sol irrigué avec des eaux usées traitées ?

A quel point la diffusion de l'humidité dans un sol est-elle homogène (ou non) spatialement ?

**Besoin :**

Jeu de données agronomiques / de suivi de l'humidité dans le sol

## › Problématique et hypothèses de recherche

### Quel potentiel de fertilisation ?

- *Réduction de la fertilisation nécessaire sans la supprimer*
- *Meilleurs rendements avec les eaux testées qu'avec la fertilisation classique*

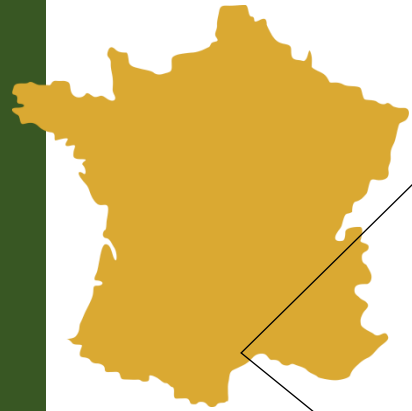
### Quels sont les risques pour le sol ?

- *Impact sur le pH et la salinité du sol, sans problèmes à court terme*
- *Moins de lessivage de nutriments avec les eaux testées qu'avec la fertilisation traditionnelle en raison de la répartition de l'apport dans le temps*

### Comment se diffuse l'humidité dans le sol ?

- *Diffusion similaire si conditions similaires*
- *Impact de la qualité d'eau sur la structure du sol, et donc sur la diffusion de l'humidité*

## > Plateforme expérimentale



*Serre de culture*

*Figure 1 : STEP de Murviel-lès-Montpellier*

- ❑ Station d'épuration de Murviel-lès-Montpellier
- ❑ 4 qualités d'eau disponibles :
  - EUT traitées par la STEP
  - EUT traitées par un BRM
  - Eaux usées brutes
  - Eau potable

**FPR** : Filtres plantés de roseaux à aération forcée

**BRM** : Bioréacteur à membrane

## > Plan d'expérience

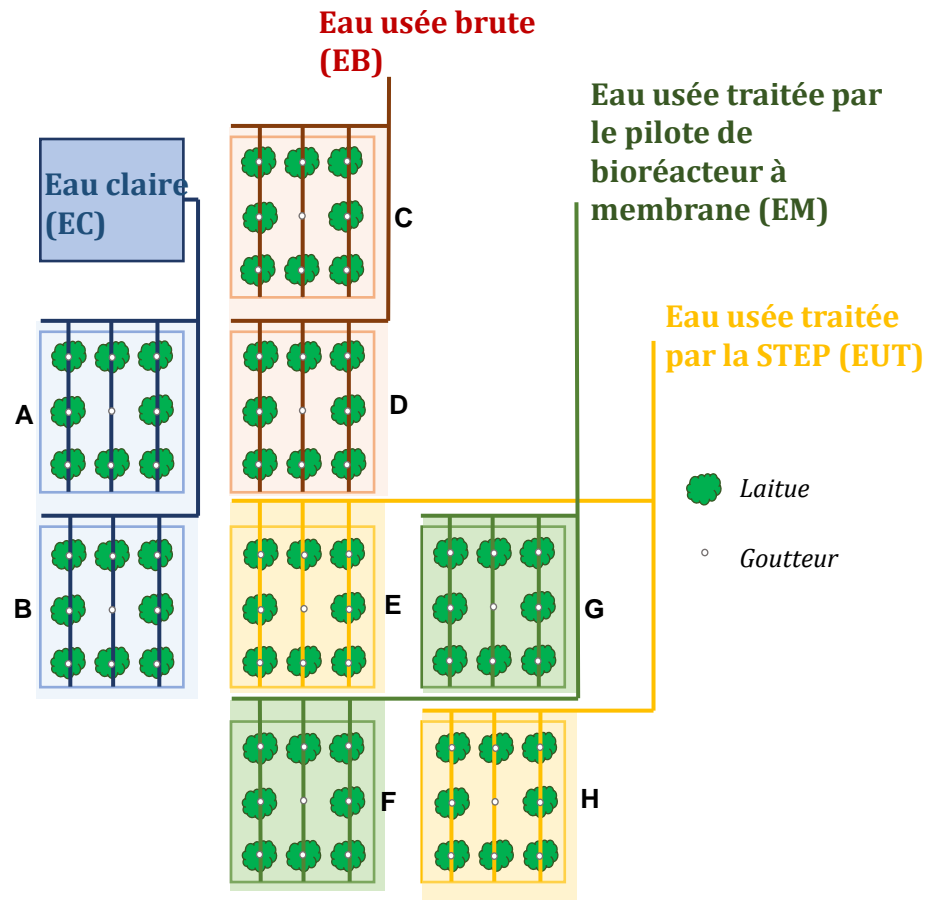


Figure 2 : Schéma d'installation de la serre

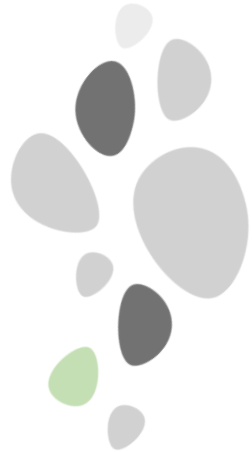
<i>Laitues</i>	Taille, biomasse N, P, K, C, Mg
<i>Sol</i>	pH, CE, conductivité hydraulique, densité apparente N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Fe, Zn Humidité, Température
<i>Eaux d'irrigation</i>	pH, CE N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Br, S
<i>Climat</i>	Température, rayonnement, humidité de l'air

	Cycle 1	Cycle 2
Dates	13/04 – 25/05	27/05 – 05/07
ET0 cumulé	131,3 mm	150,8 mm
Degrés jours cumulés	738 °C	877 °C
Irrigation cumulée	95 mm	80 mm

Tableau 1 : paramètres suivis et valeurs de quelques paramètres clés



Sondes capacitives ECH20 calibrées



## Analyse des eaux d'irrigation

### Impacts sur la culture de laitues

- ❑ Biodisponibilité des nutriments
- ❑ Rendements

### Impacts sur le sol

- ❑ Paramètres physico-chimiques
- ❑ Lixiviation des nutriments

### Diffusion de l'humidité

- ❑ Irrigation homogène spatialement
- ❑ Irrigation goutte à goutte
- ❑ Modélisation

## Discussion des méthodes et perspectives

## > Eaux d'irrigation : paramètres principaux

Analyses hebdomadaires :

Paramètre	Unité	EUT	EM	EB	EC	Seuil de risque *
N-NH <sub>4</sub>	mg/l	5,6 ± 2,2	24,6 ± 15,7	91,2 ± 28,4	<2	>250
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	18,0 ± 6,1	23,0 ± 10,3	1,0 ± 0,3	1,0	>30
P-PO <sub>4</sub>	mg/l	2,1 ± 0,9	9,1 ± 1,0	12,3 ± 5,7	<0,5	
pH		7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,1	7,6 ± 0,2	7,7	>8.5
Conductivité	μS/cm	1362 ± 93	1439 ± 178	1816 ± 254	724	>1900
SAR	meq/l	15,3 ± 0,6	15,8 ± 1,9	16,1 ± 2,7	3,2	>9

Tableau 2 : valeurs mesurées pour quelques paramètres dans les eaux d'irrigation – moyenne sur l'ensemble de l'expérience

N apporté sous des formes différentes selon les eaux

Eaux relativement riches en sels

Tolérance de la laitue à la salinité des eaux : 1900 μS/cm

SAR > 9 : risques pour le sol

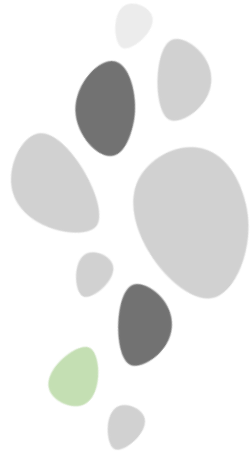
\* Landreau et Monition, 1977

**EUT** : STEP

**EB** : eaux usées brutes

**EM** : bioréacteur à membrane

**EC** : eau potable



## Analyse des eaux d'irrigation

### Impacts sur la culture de laitues

- ❑ **Biodisponibilité des nutriments**
- ❑ **Rendements**

### Impacts sur le sol

- ❑ Paramètres physico-chimiques
- ❑ Lixiviation des nutriments

### Diffusion de l'humidité

- ❑ Irrigation homogène spatialement
- ❑ Irrigation goutte à goutte
- ❑ Modélisation

### Discussion des méthodes et perspectives



## › Biodisponibilité des nutriments et potentiel de fertilisation

		Apports sur un cycle			Besoins moyens
		EUT	EM	EB	laitue *
<b>N</b>	kg/ha	26,0	48,7	82,8	90
<b>P</b>	kg/ha	2,5	8,5	11,8	50
<b>K</b>	kg/ha	19,4	32,6	23,4	250

Tableau 3 : Comparaison des apports en NPK par les eaux utilisées et des besoins d'une culture de laitues

+ Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO

+ Oligo-éléments

+ Apports réguliers tout au long du cycle



Plus avantageux qu'une fertilisation NPK classique ?



**Economie de fertilisation possible**

\* Berry, 2013

**EUT** : STEP

**EB** : eaux usées brutes

**EM** : bioréacteur à membrane

## Impacts sur la croissance des laitues et les rendements

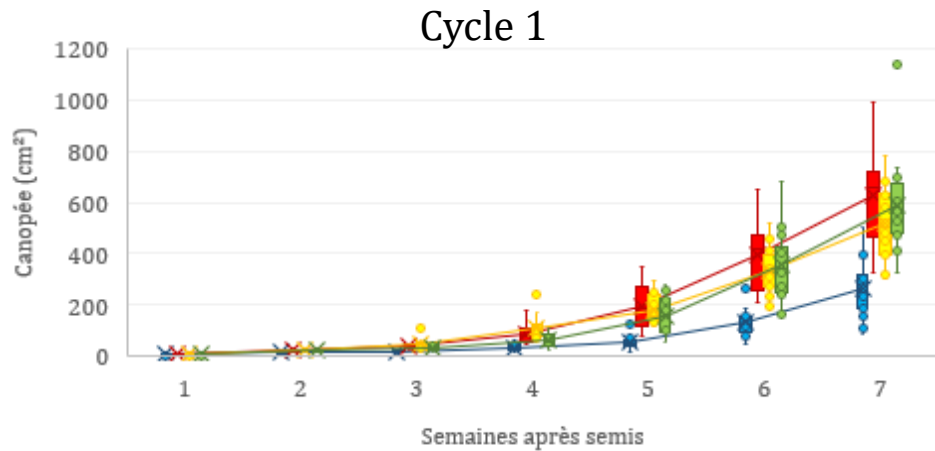


Figure 3 : Evolution de la surface des salades pour chaque traitement au cours du temps

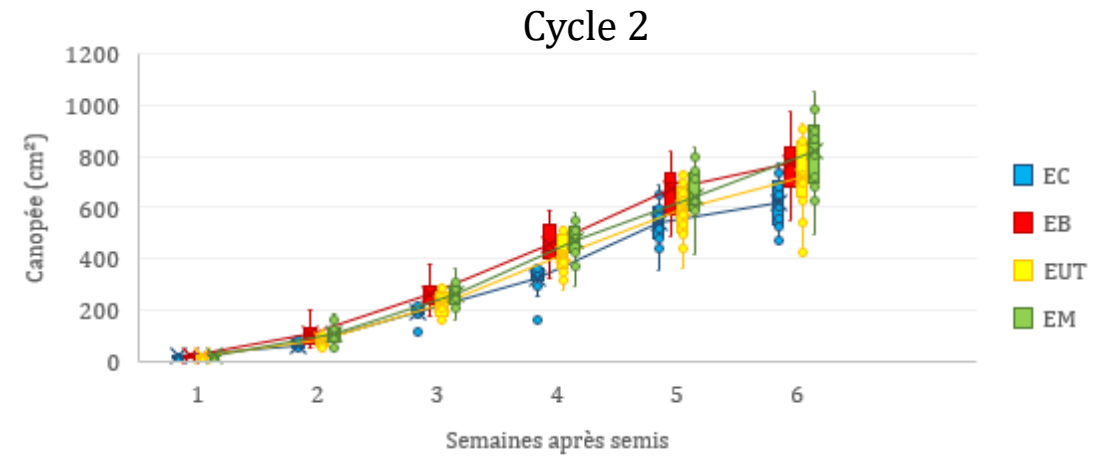


Figure 4 : Masse fraîche des salades à la récolte pour chaque bac



EUT : STEP

EM : bioréacteur à membrane

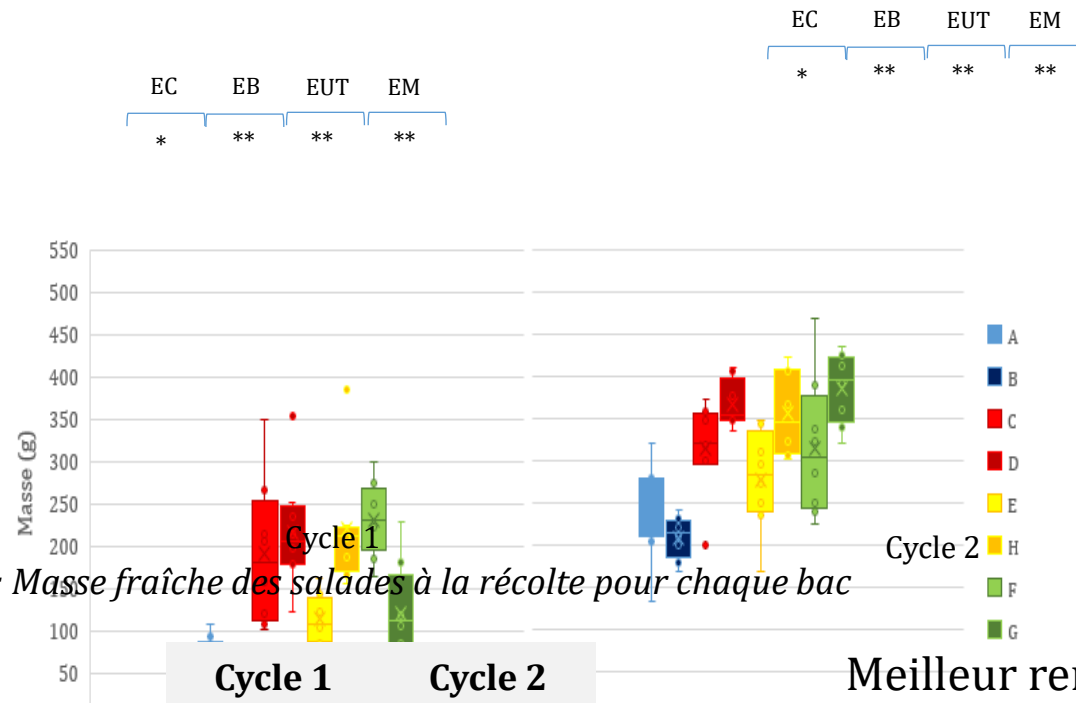
EB : eaux usées brutes

EC : eau potable

Cycle 1

Cycle 2

## > Impacts sur la croissance des laitues et les rendements



Bac D (EB) à la fin du cycle 2

Figure 4 : Masse fraîche des salades à la récolte pour chaque bac

	Cycle 1	Cycle 2
<b>EC</b>	46 ± 24	218 ± 41
<b>EB</b>	203 ± 77	331 ± 41
<b>EUT</b>	167 ± 50	308 ± 55
<b>EM</b>	176 ± 50	341 ± 62

Tableau 4 : Masse fraîche moyenne des salades à la récolte pour chaque traitement

Meilleur rendement avec EB/EUT/EM : hypothèse validée

Résultats similaires :

El-Nahhal *et al.* (2013), Libutti *et al.* (2018) et Vergine *et al.* (2017)

Apports plus riches (oligo / micro éléments) et plus réguliers -> // hydroponie (Da Silva Cuba Carvalho *et al.*, 2018)



## Analyse des eaux d'irrigation

### Impacts sur la culture de laitues

- ❑ Biodisponibilité des nutriments
- ❑ Rendements

### Impacts sur le sol

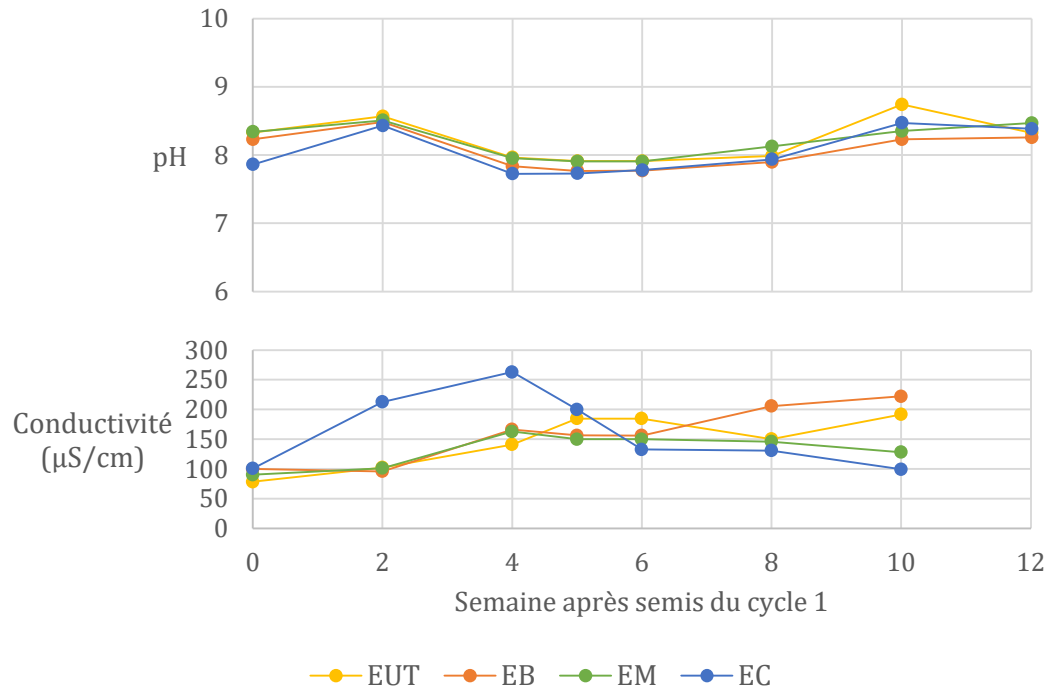
- ❑ **Paramètres physico-chimiques**
- ❑ **Lixiviation des nutriments**

### Diffusion de l'humidité

- ❑ Irrigation homogène spatialement
- ❑ Irrigation goutte à goutte
- ❑ Modélisation

### Discussion des méthodes et perspectives

## > Impacts sur les paramètres physico-chimiques du sol



pH stable ~ 8

Conductivité << 1300 µS/cm

SAR > 9 : pas d'impacts observés sur 12 semaines

➔ Paramètres à suivre sur le long terme

Figure 5 : pH et conductivité du sol au cours des deux cycles de culture

**EUT** : STEP

**EB** : eaux usées brutes

**EM** : bioréacteur à membrane

**EC** : eau potable

## > Lixiviation des principaux nutriments

Risques :

*Eutrophisation*

*Pollution des nappes*

		EC	EB	EUT	EM
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	kg/ha	124,46	83,16	35	73,36
<b>P-PO<sub>4</sub></b>	kg/ha	4,7	2,3	4,0	2,4
<b>K<sup>+</sup></b>	kg/ha	0,7	3,0	1,9	4,3
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	kg/ha	2,7	1,0	5,7	5,9

Lixiviation à 30-50 cm sur 1 m<sup>2</sup>

Hétérogénéité inter bacs

Tableau 5 : Lixiviation mesurée à 30-50 cm de quelques éléments

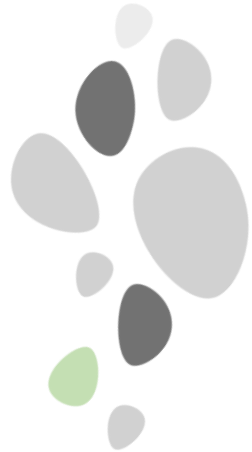
- ❑ Lessivage de N/P plus important avec la fertilisation classique : importance de la dynamique des apports
- ❑ En REUT : double enjeu du pilotage de l'irrigation -> pour l'eau / pour les nutriments

**EUT** : STEP

**EB** : eaux usées brutes

**EM** : bioréacteur à membrane

**EC** : eau potable



## Analyse des eaux d'irrigation

### Impacts sur la culture de laitues

- ❑ Biodisponibilité des nutriments
- ❑ Rendements

### Impacts sur le sol

- ❑ Paramètres physico-chimiques
- ❑ Lixiviation des nutriments

### **Diffusion de l'humidité**

- ❑ **Irrigation homogène spatialement**
- ❑ **Irrigation goutte à goutte**
- ❑ **Modélisation**

## Discussion des méthodes et perspectives

## › Irrigation homogène spatialement

- ❑ Quadrillage d'un bac avec 16 sondes sur le même horizon
- ❑ Irrigation 8 mm en pluie



Figure 6 : Positionnement des sondes

Horizon 1 (0-10 cm)

Horizon 2 (10-20 cm)

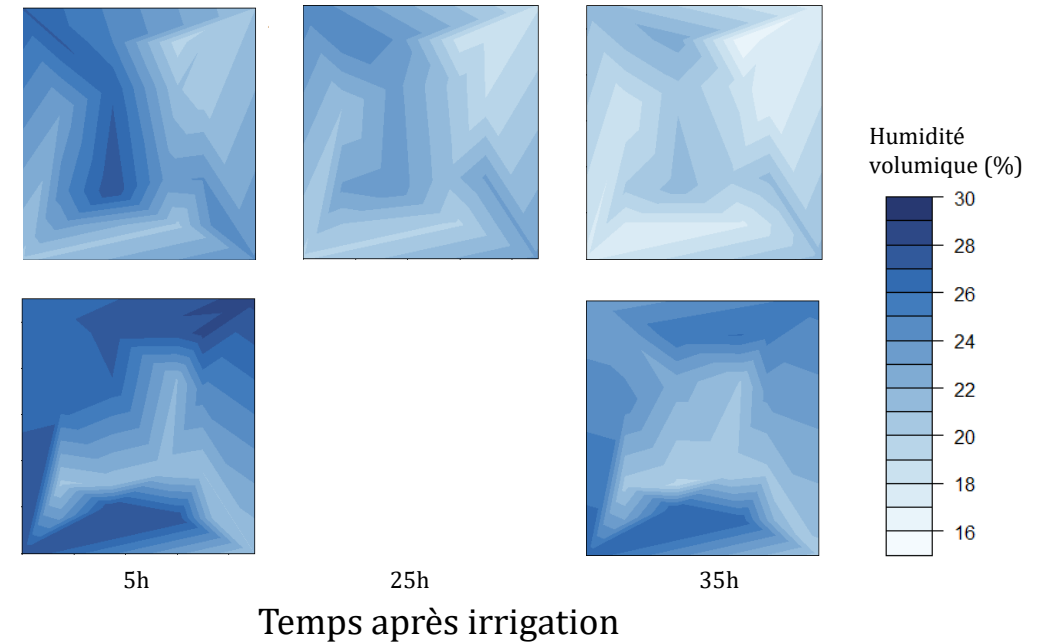


Figure 7 : Diffusion de l'humidité dans le bac G après une irrigation de 8 mm

7 - 10 % d'écart entre différents points



> Irrigation goutte à goutte

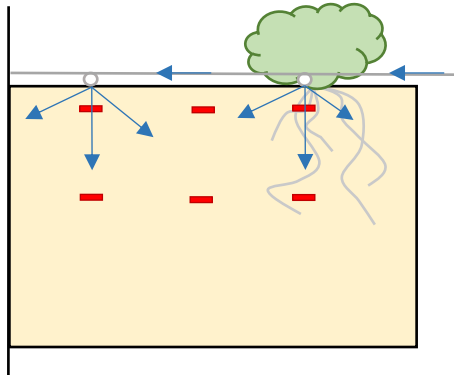


Figure 8 : Placement des sondes pour suivre la diffusion de l'humidité

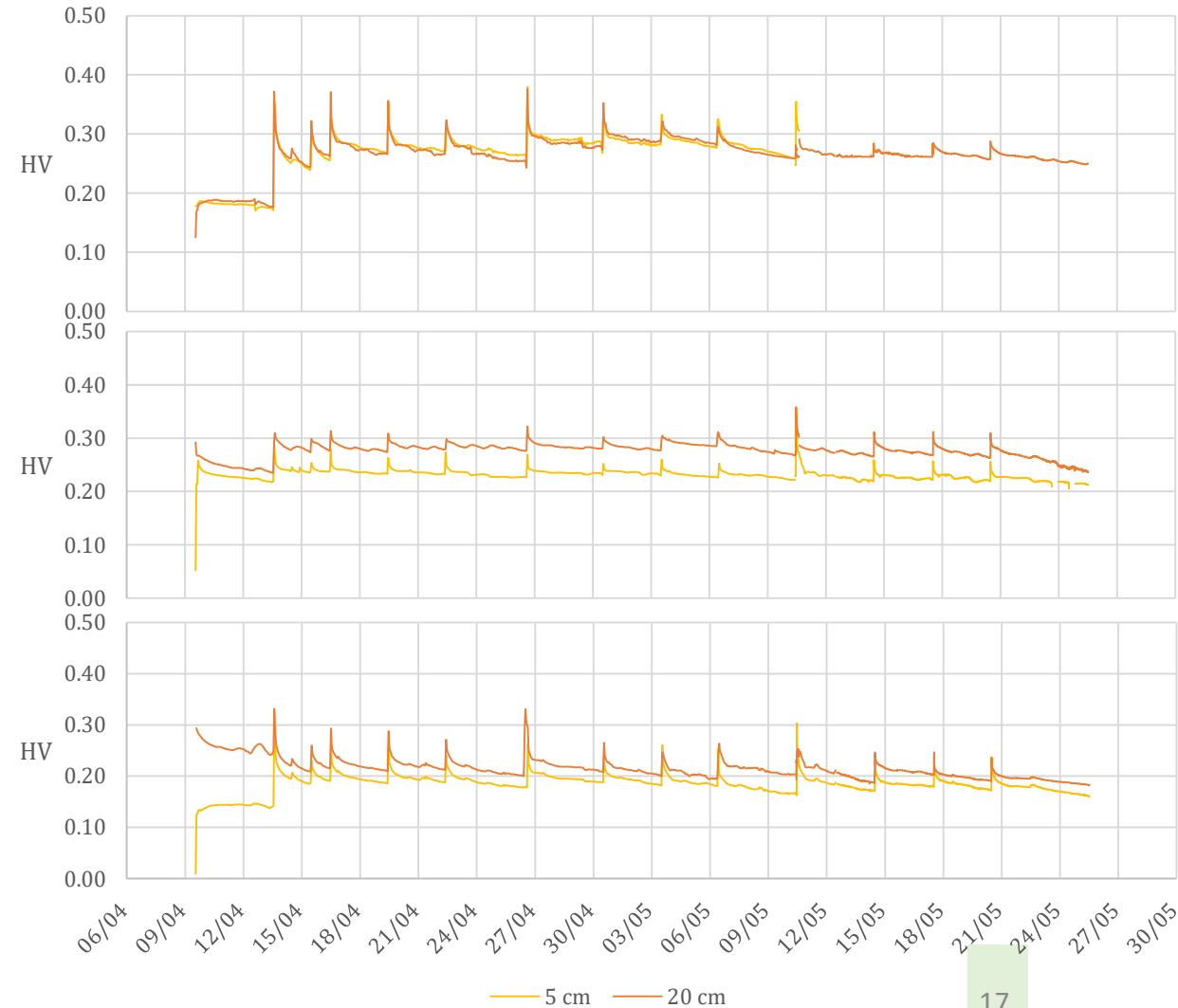
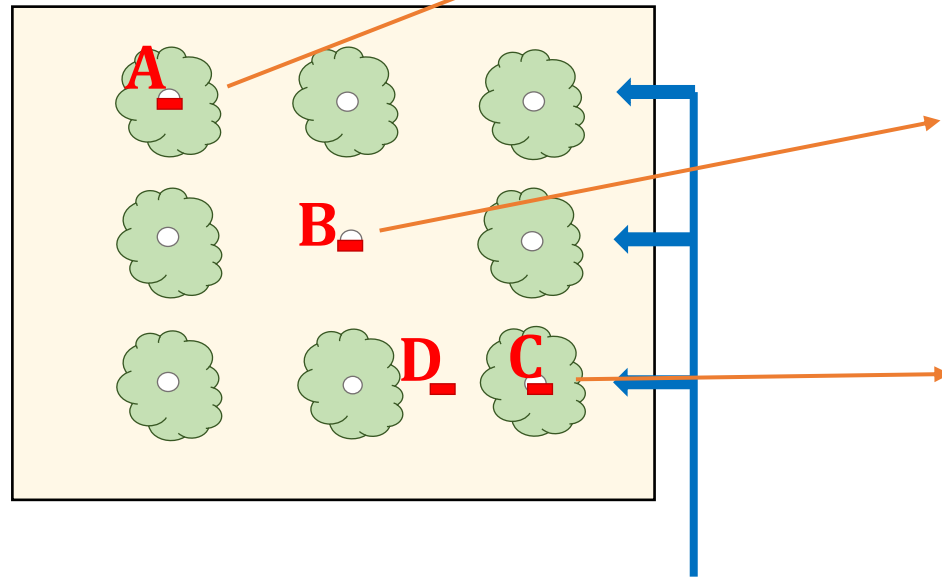


Figure 9 : Suivi de l'humidité aux points A, B et C du bac E – cycle 1

## > Irrigation goutte à goutte

- ❑ Suivi à petite échelle (plusieurs sondes à différents horizons sur une petite surface)
  
- ❑ Sommer *et al.* (2008) : impact de la granulométrie sur la diffusion de l'humidité à l'échelle d'une parcelle  
Ici même à granulométrie équivalente on observe des disparités
  
- ❑ Mubarak *et al.* (2009) : propriétés hydrauliques du sol évoluent pendant le développement racinaire -> disparités de croissance exacerbent les disparités dans la diffusion de l'humidité
  
- ❑ Un premier jeu de données, notamment pour la calibration d'un modèle mathématique de diffusion de l'humidité -> appelle d'autres expériences pour enrichir ces données

## > Modélisation

- ❑ Modèle de diffusion de l'humidité : besoin de données à diverses profondeurs et différents endroits
- ❑ Hydrus 1D : premières modélisations en 1D, à croiser avec le modèle en développement

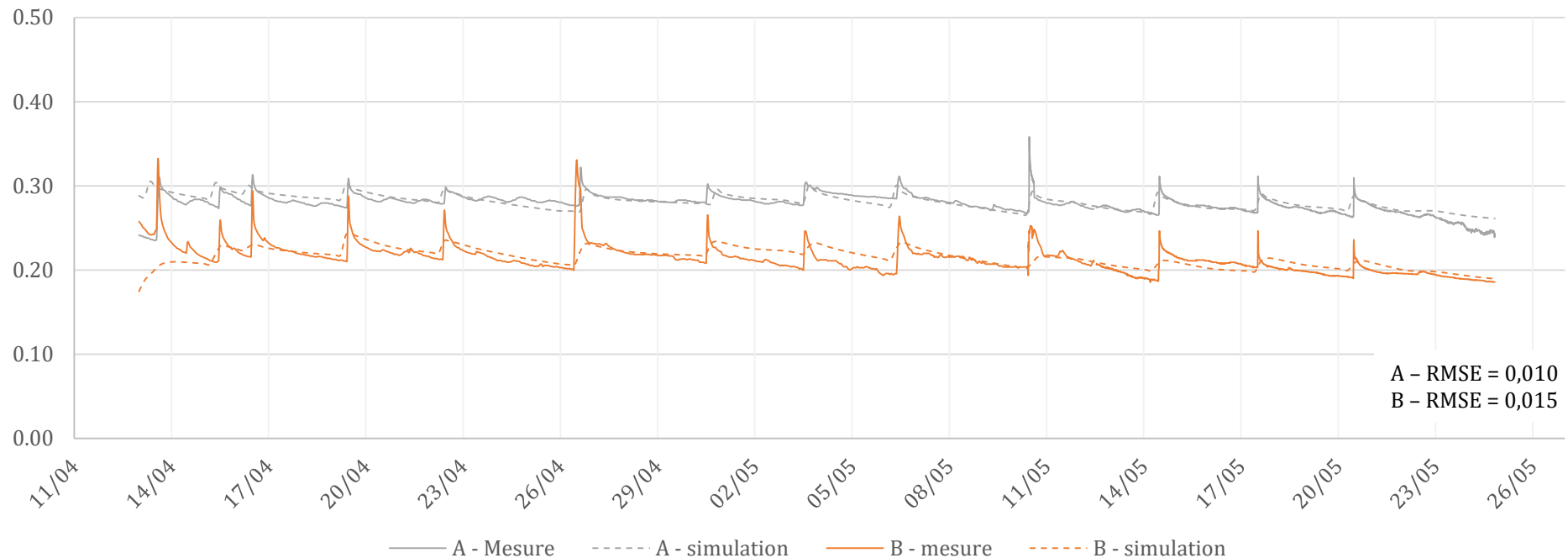


Figure 10 : Humidité à 20 cm sous un goutteur (A) sans salade (B) avec salade



## Analyse des eaux d'irrigation

### Impacts sur la culture de laitues

- ❑ Biodisponibilité des nutriments
- ❑ Rendements

### Impacts sur le sol

- ❑ Paramètres physico-chimiques
- ❑ Lixiviation des nutriments

### Diffusion de l'humidité

- ❑ Irrigation homogène spatialement
- ❑ Irrigation goutte à goutte
- ❑ Modélisation

## **Discussion des méthodes et perspectives**

## Principales limites

Limite des expériences en bac hors-sol

Grand nombre de variables

Manque de données à long terme

## Perspectives

Expérience en conditions contrôlées

Expérience en pleine terre, sur plusieurs cycles culturaux et suivi à long terme

Suivi de l'humidité sur une parcelle

Modèle actuellement en développement



- ❑ Meilleurs rendements avec les EUT  
Apports micro / oligoéléments  
Dynamique d'apport
- ❑ Risques à étudier sur le long terme
- ❑ Variabilité spatiale et temporelle de la structure du sol impacte la diffusion de l'humidité
- ❑ Premier jeu de données à compléter
- ❑ Modélisation en cours
- ❑ Thèse en cours : Vincent Moulia

## Merci de votre attention !

Berry D. 2013. *Culture biologique des laitues*. Disponible sur : [https://extranet-ain.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/Auvergne-Rhone-Alpes/AB\\_Culture\\_biologique\\_laitues\\_2013.pdf](https://extranet-ain.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Auvergne-Rhone-Alpes/AB_Culture_biologique_laitues_2013.pdf)

da Silva Cuba Carvalho R., Bastos R.G., et Souza C.F. 2018. Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. 203. DOI : [10.1016/j.agwat.2018.03.028](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.028)

El-Nahhal Y., Tubail K., Safi M., et Safi J. 2013. Effect of Treated Waste Water Irrigation on Plant Growth and Soil Properties in Gaza Strip, Palestine. 04. DOI : [10.4236/ajps.2013.49213](https://doi.org/10.4236/ajps.2013.49213)

Landreau A. et Monition L. 1977. *Nouvelle évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (77SGN628HYD)*. Orléans : BRGM, Disponible sur : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/77-SGN-628-HYD.pdf>

Libutti A., Gatta G., Gagliardi A., Vergine P., Pollice A., Beneduce L., Disciglio G., et Tarantino E. 2018. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. 196. DOI : [10.1016/j.agwat.2017.10.015](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015)

Mubarak I., Mailhol J.C., Angulo-Jaramillo R., Ruelle P., Boivin P., et Khaledian M. 2009. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation. 150(1). DOI : [10.1016/j.geoderma.2009.01.022](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.022)

Sommer M., Wehrhan M., Zipprich M., et Weller U. 2008. Assessment of Soil Landscape Variability. Dans : Schröder P., Pfadenhauer J., Munch J.C. (éd.). *Perspectives for Agroecosystem Management*. San Diego : Elsevier, p. 351-373. Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444519054500155>

Vergine P., Lonigro A., Salerno C., Rubino P., Berardi G., et Pollice A. 2017. Nutrient recovery and crop yield enhancement in irrigation with reclaimed wastewater: a case study. 14(3). DOI : [10.1080/1573062X.2016.1141224](https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1141224)