

COMBIEN DE BARRIÈRES DANS  
L'ARROSAGE DE VOS POIREAUX ?



➤ Approche multi-barrières, une piste pour des pratiques d'économie circulaire de l'eau sûres et sobres ?

Rémi LOMBARD LATUNE  
Ingénieur de Recherche (PhD, Eng), UR REVERSAAL

## ➤ REUT et changement climatique



## ➤ Enjeu sanitaire

Une gestion des risques cloisonnée

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des EUT (arrêté Fr 18/12/23)				Irrigation hors Reut
	A	B	C	D	
MES en mg/L	≤ 10	Minimum assainissement collectif			-
DBO <sub>5</sub> en mg/L	≤ 10	Minimum assainissement collectif			-
<i>Escherichia coli</i> en UFC/100 mL , (réduction Log)	≤ 10 (≥ 5)	≤ 100 (≥ 3)	≤ 1 000 (≥ 2)	≤ 10 000 (≥ 2)	-
Enterocoques intestinaux (UFC/100mL)	-	-	-	-	-
Phages ARN F-spécifiques en UFP/100mL (réduction log)	≤ 10 (≥ 6)	≤ 100 (≥ 3)	≤ 1 000 (≥ 2)	≤ 10 000 (≥ 2)	-
Spores de bactéries anaérobies sulfito- reductrices (réduction log)	≤ 10 (≥ 5)	≤ 100 (≥ 3)	≤ 1 000 (≥ 2)	≤ 10 000 (≥ 2)	-
Turbidité (NTU), suivi continu	≤ 5	-	-	-	-
Legionella spp. (UFC/100mL) si aérosols	≤ 1 000	≤ 1 000	≤ 1 000	≤ 1 000	-
Œufs d'Helminthes (Œuf/L) si pâturages ou fourrages frais	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	-



INRAE

Approche Multi-barrières

14/01/2026 / Séance REUT académie d'agriculture



# ➤ Enjeu sanitaire

Une gestion des risques cloisonnée

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des EUT (arrêté Fr 18/12/23)				Irrigation hors Reut	Baignade eau douce (UE, 2006)	
	A	B	C	D		Excellente qualité	Qualité suffisante
MES en mg/L	≤ 10	Minimum assainissement collectif			-	-	-
DBO <sub>5</sub> en mg/L	≤ 10	Minimum assainissement collectif			-	-	-
<i>Escherichia coli</i> en UFC/100 mL , (réduction Log)	≤ 10 (≥ 5)	≤ 100 (≥ 3)	≤ 1 000 (≥ 2)	≤ 10 000 (≥ 2)	-	≤ 500	≤ 900
Enterocoques intestinaux (UFC/100mL)	-	-	-	-	-	≤ 200	≤ 330
Phages ARN F-spezifiques en UFP/100mL (réduction log)	≤ 10 (≥ 6)	≤ 100 (≥ 3)	≤ 1 000 (≥ 2)	≤ 10 000 (≥ 2)	-	-	-
Spores de bactéries anaérobies sulfito- reductrices (réduction log)	≤ 10 (≥ 5)	≤ 100 (≥ 3)	≤ 1 000 (≥ 2)	≤ 10 000 (≥ 2)	-	-	-
Turbidité (NTU), suivi continu	≤ 5	-	-	-	-	-	-
Legionella spp. (UFC/100mL) si aérosols	≤ 1 000	≤ 1 000	≤ 1 000	≤ 1 000	-	-	-
Œufs d'Helminthes (Œuf/L) si pâturages ou fourrages frais	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	-	-	-



OMS (2006) :  $10^{-6}$  DALY /pers/an  
*Guidelines for the safe use of wastewater*



OMS (2003) : < 1-5% de gastro-entérites  
→  $2,579 \cdot 10^{-3}$  DALY /pers/an  
*Guidelines for safe recreational water environments*



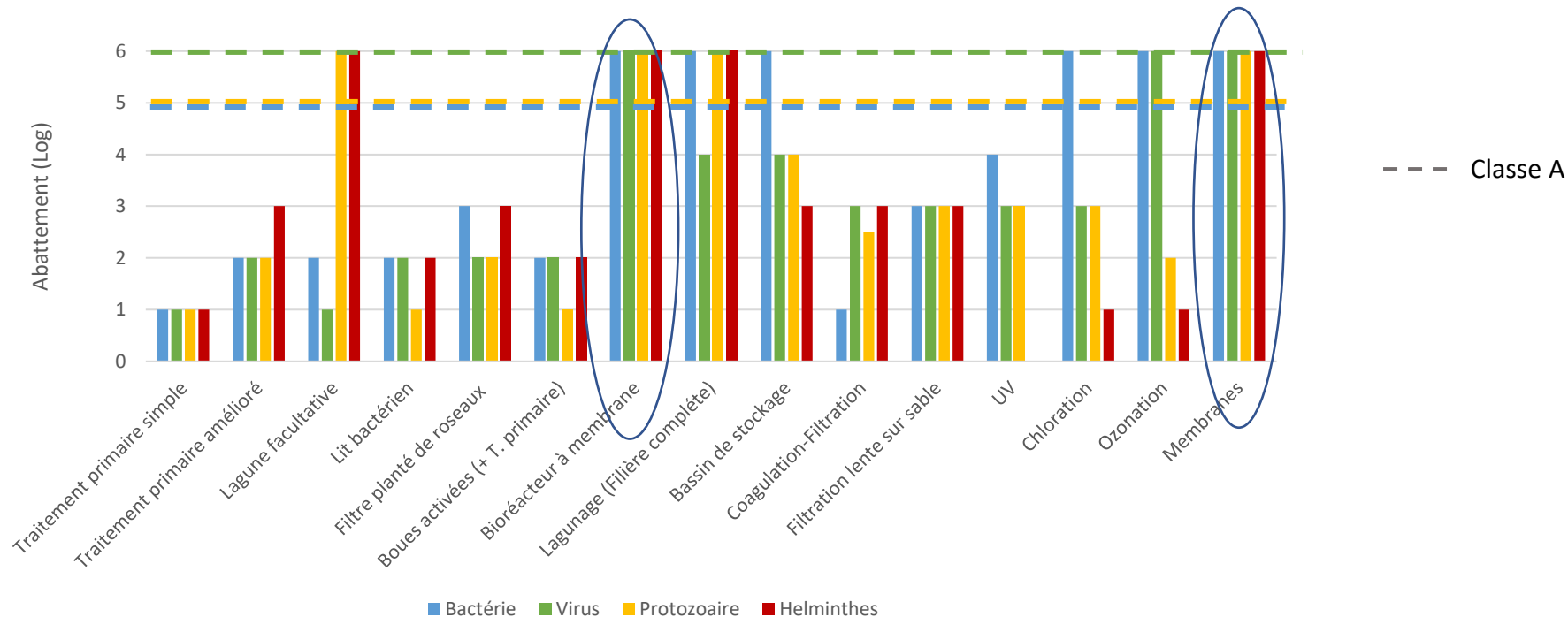
INRAE

Approche Multi-barrières

14/01/2026 / Séance REUT académie d'agriculture

## ➤ Des enjeux environnementaux

Liés aux technologies de traitement



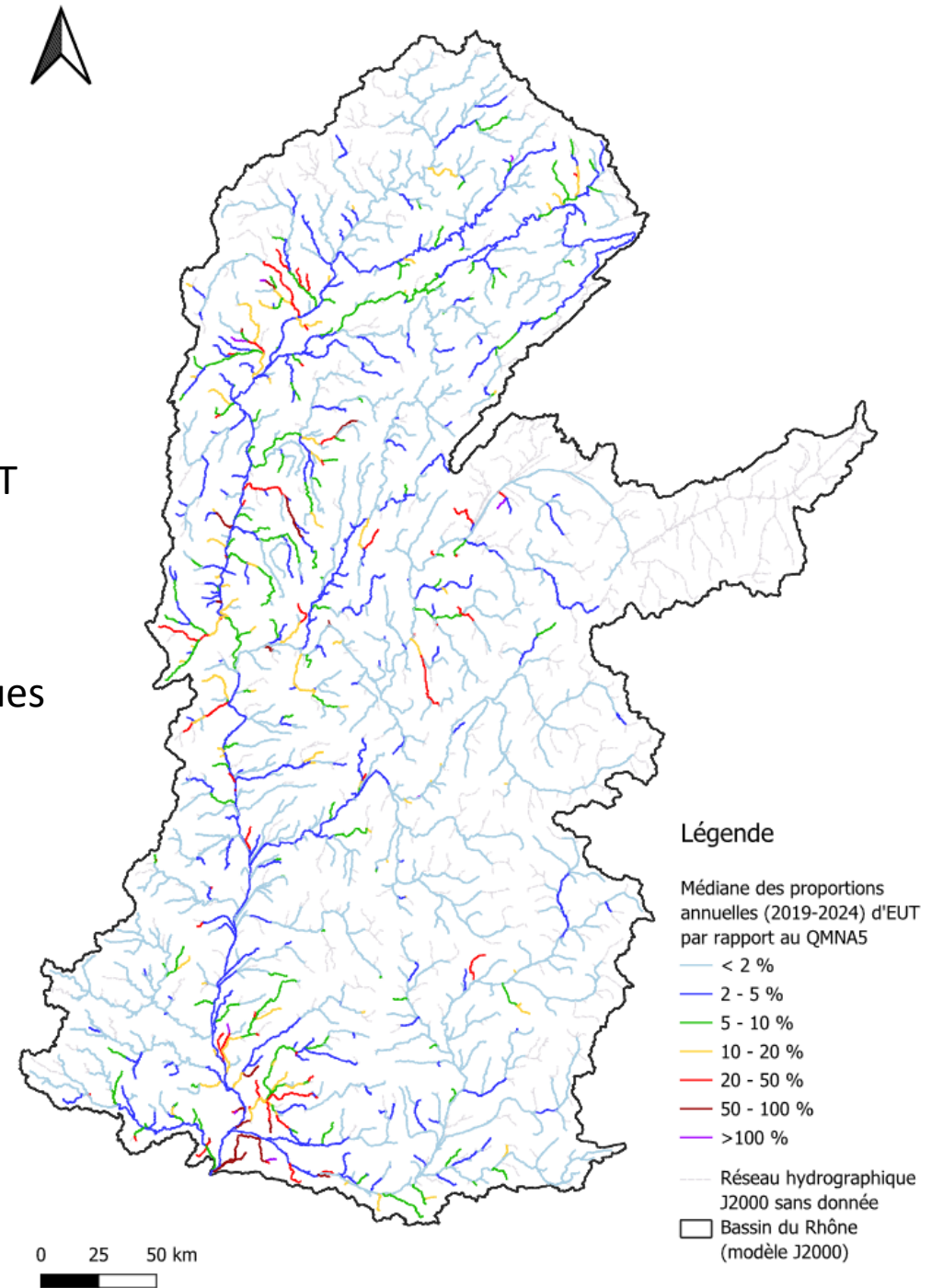
- En terme de traitement, on sait tout faire, mais ...
  - Les bioreacteurs à membranes consomment 2 fois plus d'électricité qu'une boue activée (6,8 vs 3,1 kWh / kg DBO<sub>5</sub> traitée, Stricker et al., 2019)
  - Le traitement de l'eau est responsable de 3-7% des émissions globales de GES (Alix et al., 2022)

## ➤ Des enjeux environnementaux

### REUT et substitution

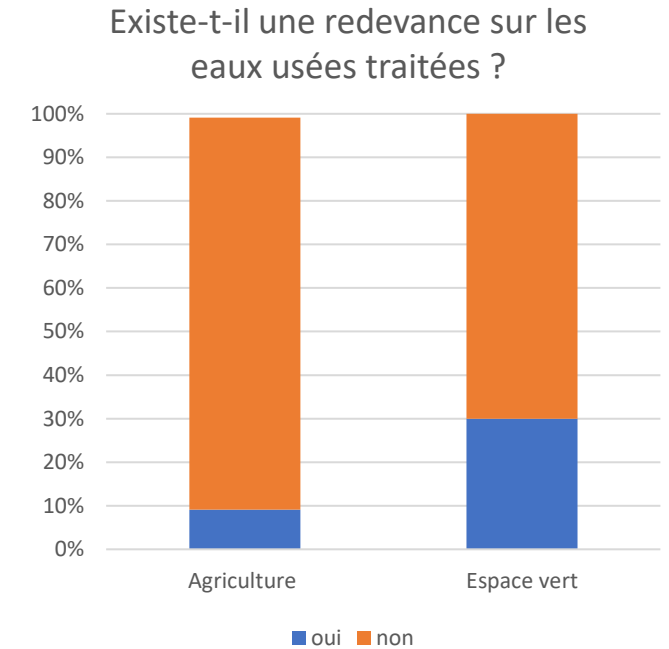
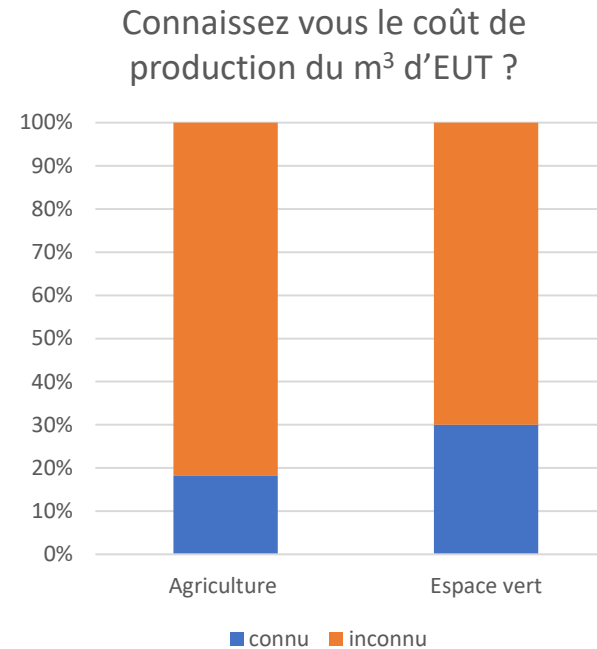
- En sortie de station d'épuration, les eaux usées traitées sont restituées au milieu naturel
- Si elle ne se fait pas en substitution à des prélèvement, la REUT continentale augmente la pression sur le milieu
- La part d'eau usée dans les cours d'eau peut-être localement importante en été (> 10% pour 20% des stations hydrométriques en 2022 dans le bassin du Rhône)

*Bassin versant du Rhône. Médiane des proportions d'eaux usées traitées dans les cours d'eau du par rapport au débit mensuel minimal sur 5 ans (QMNA5). Période 2019-2024  
Beudet L., Mimeau L., Lombard-Latune R., Branger F., 2025*



## ➤ Des enjeux économiques

- Des coûts liés aux traitements
  - Coûts de production de m<sup>3</sup> d'eau
  - Irrigation conventionnelle 0,10 - 0,20 €
  - Traitement secondaire 0,30 – 0,50 €
  - Filtre à sable + UV : 0,30 - 1 €
  - Traitements membranaire : 1,80 – 3,50 €



Enquête auprès des maîtres d'ouvrages de projets  
de Reut en fonctionnement (32)  
*Panorama de la Reut en France en 2022*  
(Lombard-Latune et Bruyère, 2023)

- Questions sur le modèle économique de la Reut
  - Un modèle économique à construire
  - La REUT dépend largement de financements publics en France (Montginoul, 2024)



INRAE

Approche Multi-barrières

14/01/2026 / Séance REUT académie d'agriculture

## ➤ REUT et changement climatique



➔ REUT : risque de mal adaptation au changement climatique ?

# Projet Multi-barrières (2021 – 2024)

**Doctorante :** Alice-Rose THOMAS

**Directeur de thèse :** Pascal MOLLE (REVERSAAL – INRAE)

**Co-encadrants :** Rémi LOMBARD-LATUNE (REVERSAAL – INRAE)

Rémi DECLERCQ (Ecofilae),

Emeline HASSENFORDER (CIRAD-Geau)

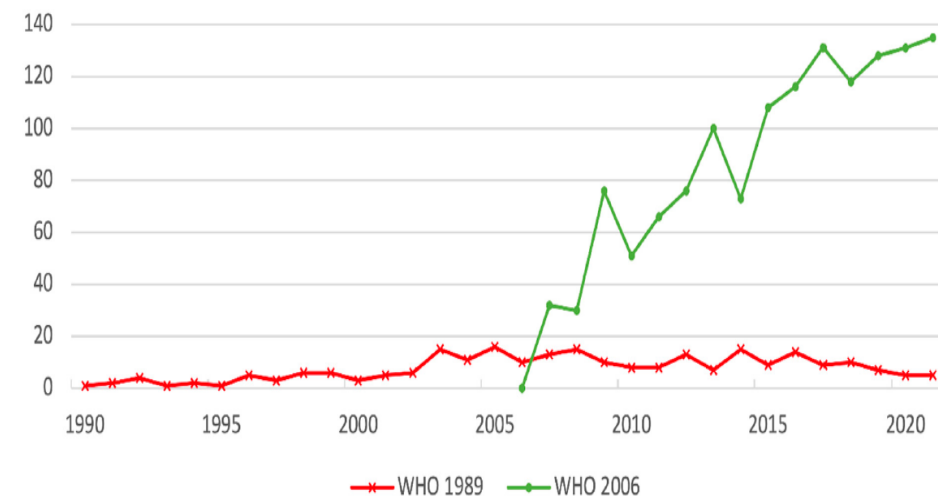
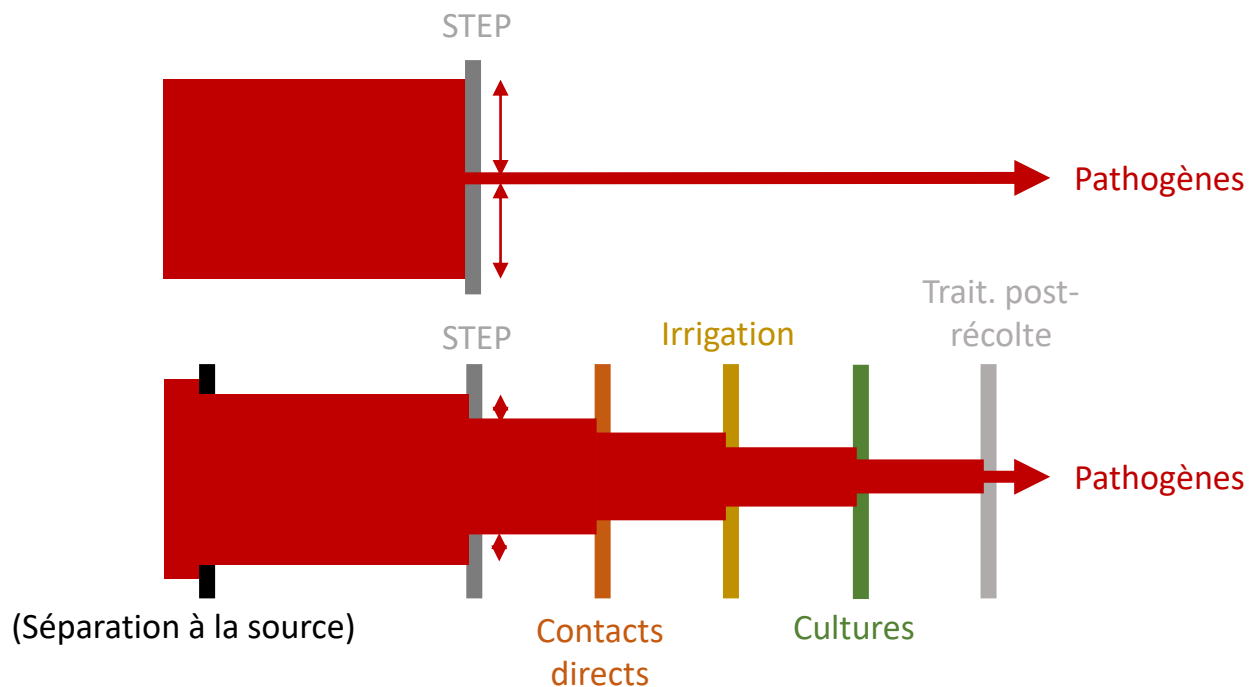
COMBIEN DE BARRIÈRES DANS  
L'ARROSAGE DE VOS POIREAUX ?

ced'n.



## ➤ Alternative à l'atteinte des seuils de qualités : approche par « barrières »

Approche par barrières (OMS, 2006)



Drechsel et al., 2022

Intérêt mais pas de mise en œuvre :

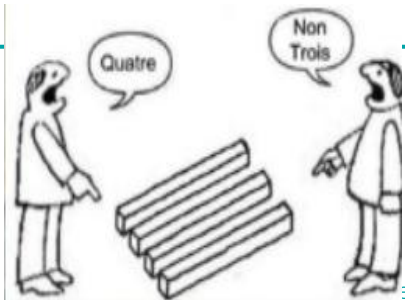
- Quelles combinaisons de barrières ?
- Partage des responsabilités

# ➤ Une démarche de modélisation participative

## La modélisation d'accompagnement

*ComMod*

- Démarche développée depuis fin 90, par des chercheurs provenant de disciplines différentes travaillant sur des questions de gestion environnementale
- Processus ... visant à expliciter les connaissances qu'ont les acteurs de leur situation (= système complexe) et à améliorer les prises de décision collectives
- Co-construction par les acteurs d'une représentation partagée de la situation (=modèle)
- Modèle utilisé comme support pour explorer des solutions (simulation)
- Application à l'assainissement : planification concertée de l'assainissement (Lombard-Latune, 2019)



d'agriculture

1 – Modélisation participative

Construction et test du modèle

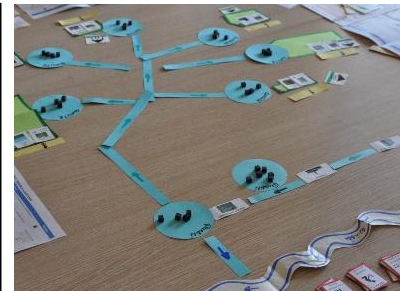
2 – Simulation exploratoire

3 – Stratégie collective

- Identifier la question clé initiale partagée = **problématique commune**
- Construire une **représentation** partagée de la question : le schéma conceptuel

**ARDI**

*Acteurs – Ressources –  
Dynamiques – Interactions*



Jeu de plateau  
+ Modèle  
informatisé

Explorer et tester différentes options puis construction de **différents scénarios** de gestion du risque pathogènes et voir leurs conséquences sur le modèle (économique, sanitaire et environnemental)

Mise en discussion collective des scénarios produits et choix d'un scénario « idéal » à intégrer au plan de gestion des risques

# ➤ Mécanisme de simulation et construction des scénarios

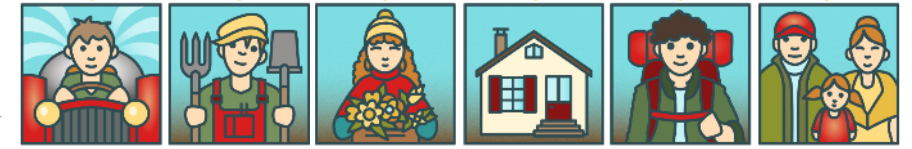


Cas fictif

Participants

Description du système

Identification des risques et scénarios d'exposition



Modèles doses-réponses

Evaluation des risques (QMRA)

Seuil OMS :  $10^{-6}$  DALYs par personne et par an

EFFETS SUR LA SANTE			
Bactéries (Campy.)	Virus (RotaV)	Virus (NoroV)	Protozoaires (Crypto)
5,26E-06	4,65E-05	5,10E-04	1,17E-05
	7,70E-05	8,47E-04	
	1,35E-04	1,49E-03	
1,85E-07	1,74E-06	1,90E-05	4,12E-07
4,21E-06	3,77E-05	4,14E-04	9,37E-06
	3,77E-05	4,14E-04	
8,40E-06	7,15E-05	7,85E-04	1,87E-05
2,11E-07	1,99E-06	2,17E-05	
4,22E-07	3,97E-06	4,34E-05	
	1,70E-12	1,86E-11	4,02E-13

Barrières

Gestion des risques

Sanitaire  
Coûts €  
Environnement

**Q.2.1**

Lagune de Maturation  
Traitement tertiaire

3 Log

De 5 000 à 500 000 m<sup>3</sup>/an

0,9 - 24 €/m<sup>3</sup> 0,02 - 0,13 €/m<sup>3</sup>/an

**E.4**

Toile de paillage  
Séparation sol-produits

2 à 4 Log

600 €/ha 1 600 €/ha/an

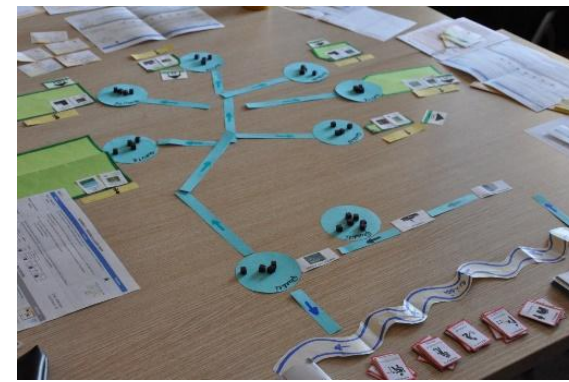
**TOUR 1**  
Scénario 1 =  
Atteinte de la  
qualité requise  
(approche  
conventionnelle)

**Tour 2**  
Scénario 2 =  
Atteinte des  
objectifs de santé  
(approche multi-  
barrières)

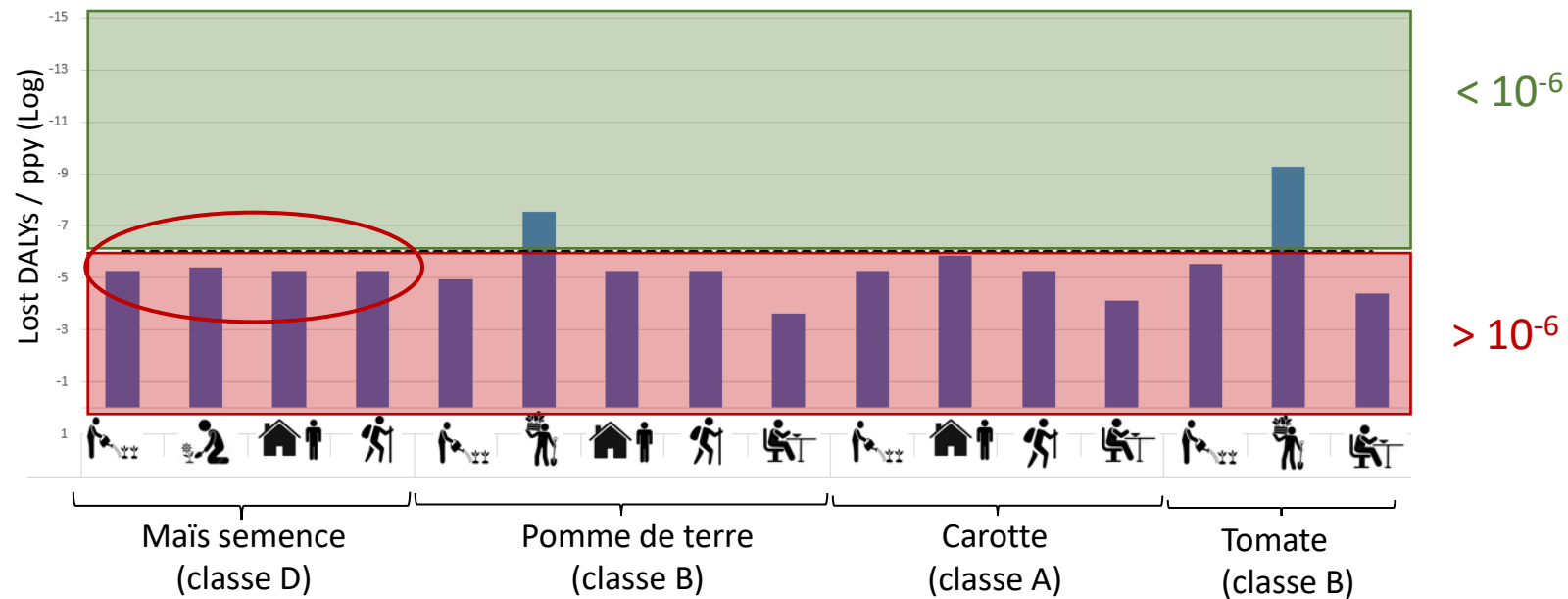
Débriefing :  
Comparaison des scénarios

Choix du scénario à  
mettre en place et  
organisation collective

## ➤ Exemples de résultats lors d'ateliers

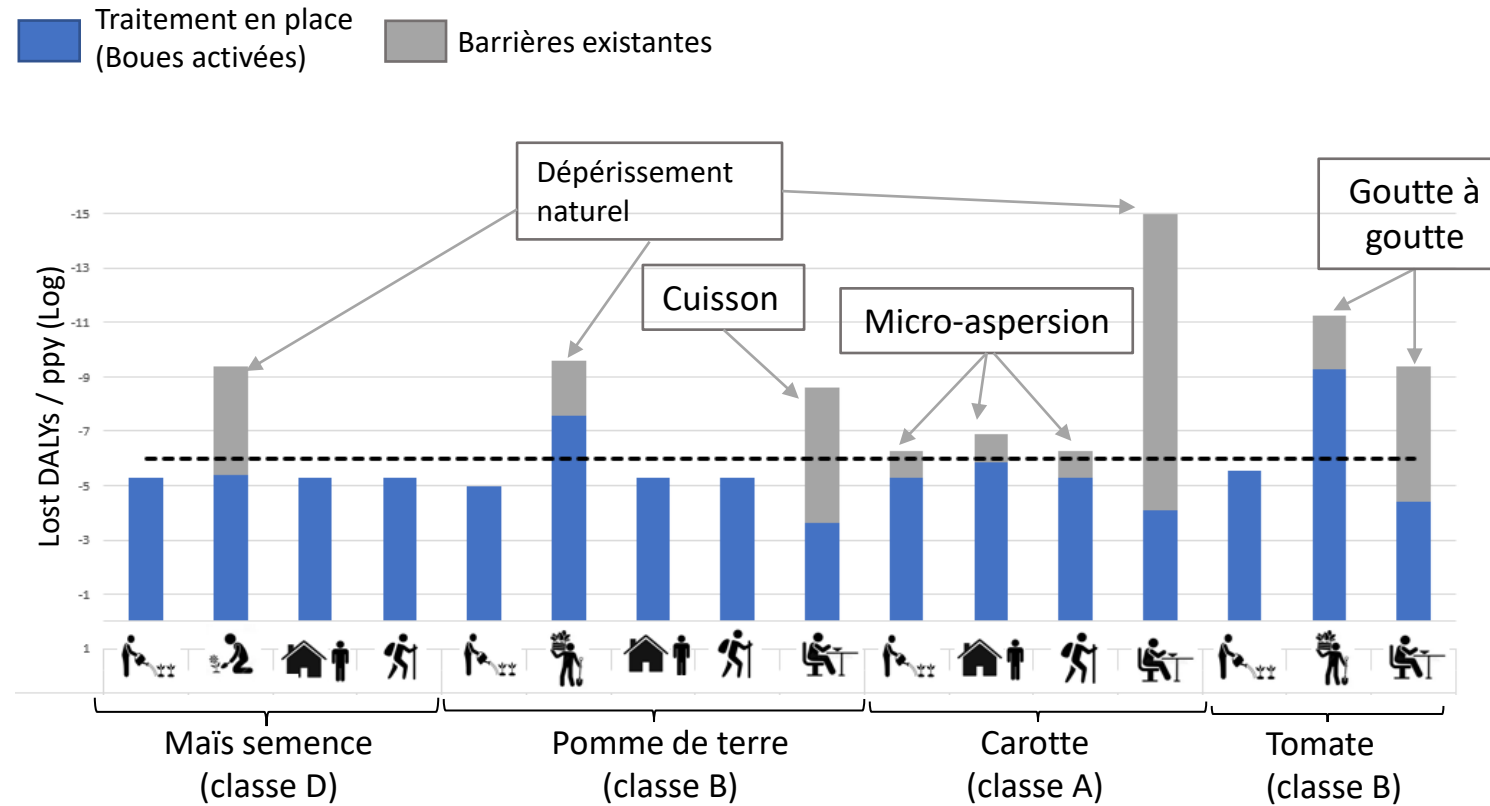


Traitement en place  
(Boues activées)  
< 10 000 E.coli ≈ class D



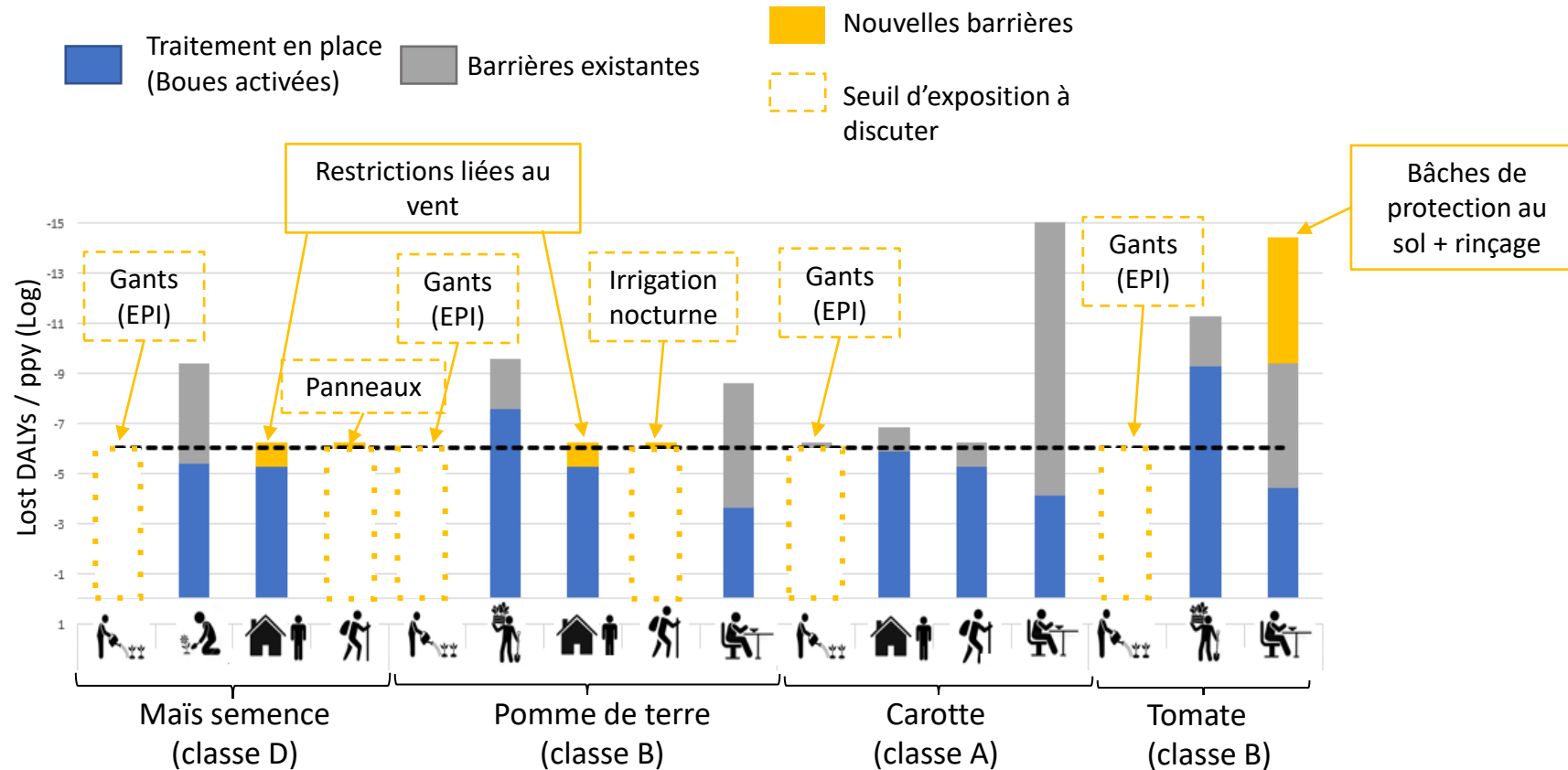
→ Le cadre réglementaire à lui seul ne semble pas suffisant pour garantir l'inocuité des pratiques pour toutes les populations

## ➤ Exemples de résultats lors d'ateliers



- Les consommateurs semblent bien protégés, ce qui n'est pas le cas de toutes les populations
- Dans les pratiques actuelles, des barrières existent, qui contribuent à réduire les risques

## ➤ Exemples de résultats lors d'ateliers



- Les consommateurs semblent bien protégés, ce qui n'est pas le cas de toutes les populations
- Dans les pratiques actuelles, des barrières existent, qui contribuent à réduire les risques
- Pour les risques résiduels, différentes barrières additionnelles peuvent être ajoutées
- Les barrières reposent sur des pratiques individuelles, et nécessitent d'être discutées avec les acteurs (réalisme, effets, modification des pratiques, etc)

## ➤ Conclusions

- La REUT agricole est en perte de vitesse (Panorama 2022)
  - Qualité d'eau difficilement atteignable pour des petites unités (coûts, technicité)
  - Débit instantané en sortie de STEU rurale est faible → stockage
  - Equilibre économique délicat → subventions
- Nécessité de revoir la gestion des risques pour accompagner le développement des pratiques
  - Risques tolérables à harmoniser entre les différents usages de l'eau
  - Mettre en place une gestion intégrées des risques



➤ Merci pour votre attention !

[remi.lombard-latune@inrae.fr](mailto:remi.lombard-latune@inrae.fr)

REVERSAAL 

<https://reversaal.lyon-grenoble.hub.inrae.fr/>

 EPNAC  
Rechercher, innover, pour mieux préserver

<https://www.epnac.fr/>

 réseau  
REUSE

<https://reuse.hub.inrae.fr/>



**INRAE**

Approche Multi-barrières

14/01/2026 / Séance REUT académie d'agriculture