

INRAE

UR1468

RÉDUIRE RÉUTILISER VALORISER LES RESSOURCES
DES EAUX RÉSIDUAIRES [REVERSAAL]



➤ Projets MATCARB et France Expérimentation

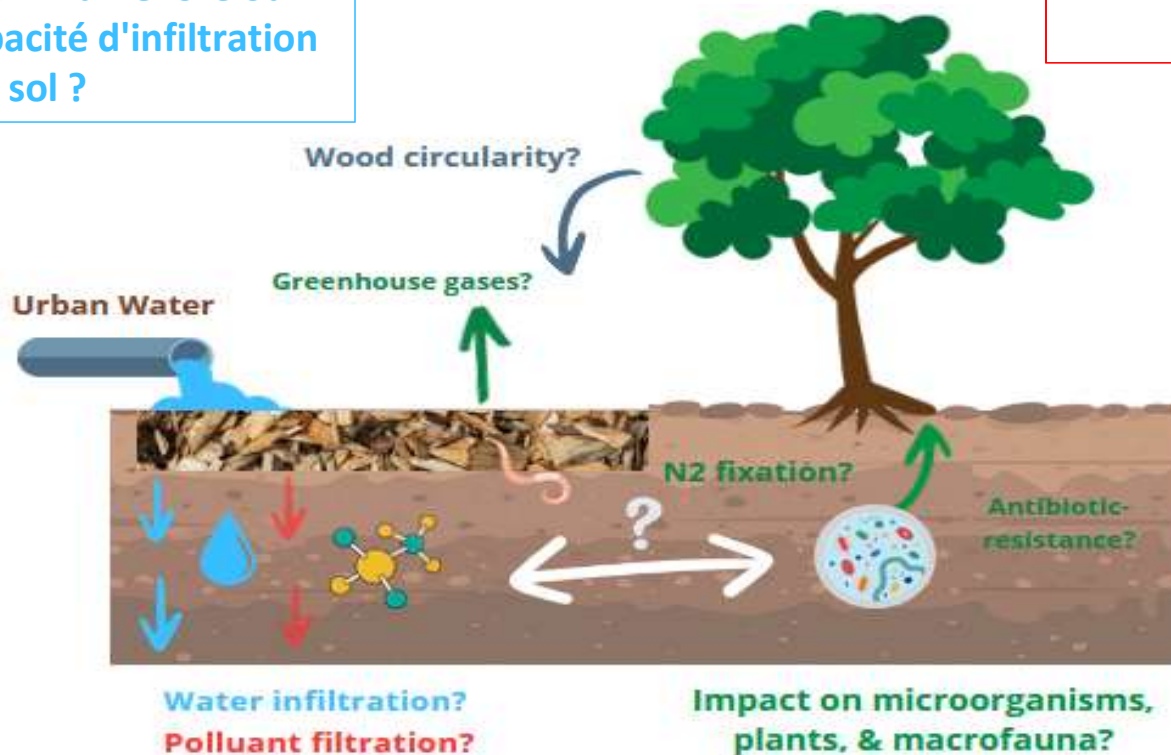
Pauline Louis, Margot Coisnon, Arnold Imig, Jérémie Aubert, Gaël Mertz et Rémi Clément

contexte

Une solution fondée sur la nature vertueuse et qui s'auto-entretient?

? L'utilisation du BB améliore ou maintient la capacité d'infiltration du sol ?

? Les filtres à broyat de bois, processus de traitement ?



? Impact sur l'environnement ?

➤ Projet MATACRB et France Expérimentation : apport par rapport à Ayous ?

- Conditions contrôlées en laboratoire (MATCARB);
- Eaux récupérées sous le FBB dans le sol (MATCARB et France Expérimentation);
- Arrêté ministériel en cours, l'application du FBB pour les eaux ménagères pourra être possible si modification de la réglementation (France Expérimentation et MATCARB).

→ Consolider les données sur les performances épuratoires du FBB

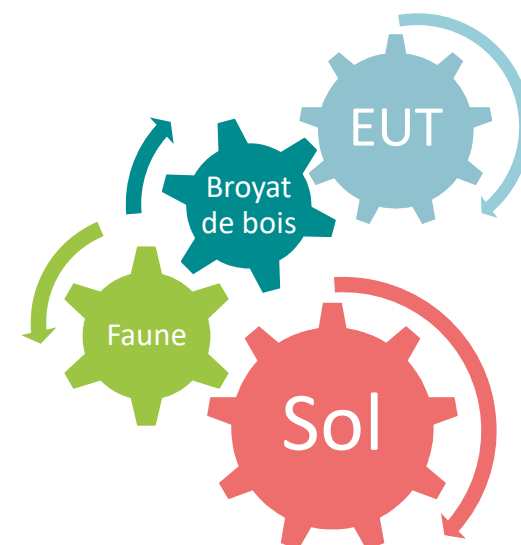
INRAE

➤ Projet MARTCARB

➤ Projet MATACRB : contexte

Objectifs et questionnements

Usage du filtre à broyat de bois (BB) comme matériau alternatif au gravier pour le maintien de l'infiltration



1. Enjeux opérationnels de l'étude :

- Évolution des écoulements (colmatage)
- Performances épuratoires

2. Questionnement scientifique :

- Mécanismes de maintien (voire amélioration) de l'infiltration
- Impact sur la qualité du sol et de l'eau
- Rôle joué par la faune (bioturbation, chemins préférentiels, enrichissement du sol)
- Impact sur le cycle de l'azote
- Impact des composés et des micro-organismes issus du broyat de bois

➤ Projet MATCARB : Démarche expérimentale

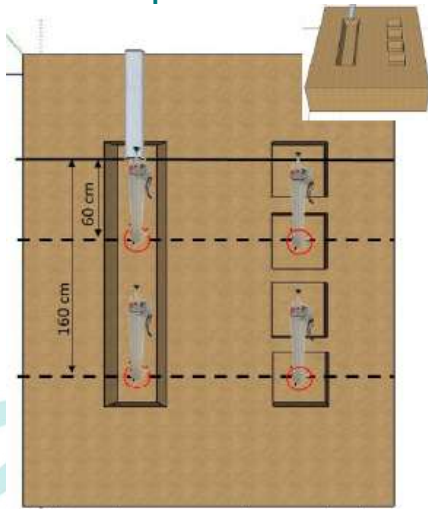


2021

2022

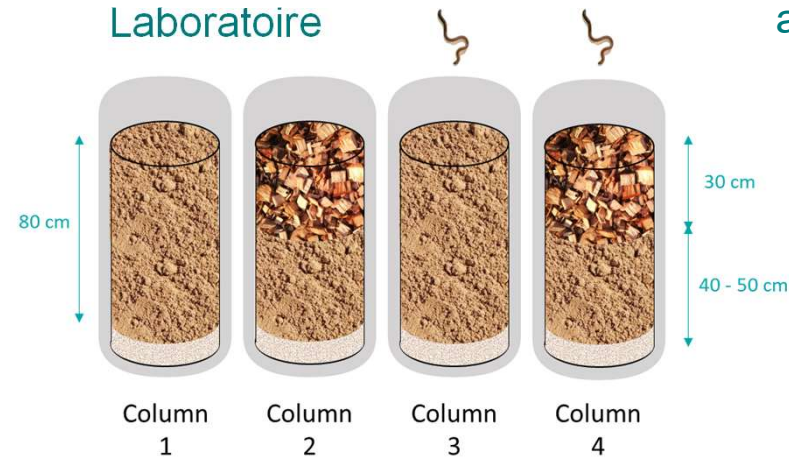
2026

Expérimentation In-



JS

Expérimentation
Laboratoire

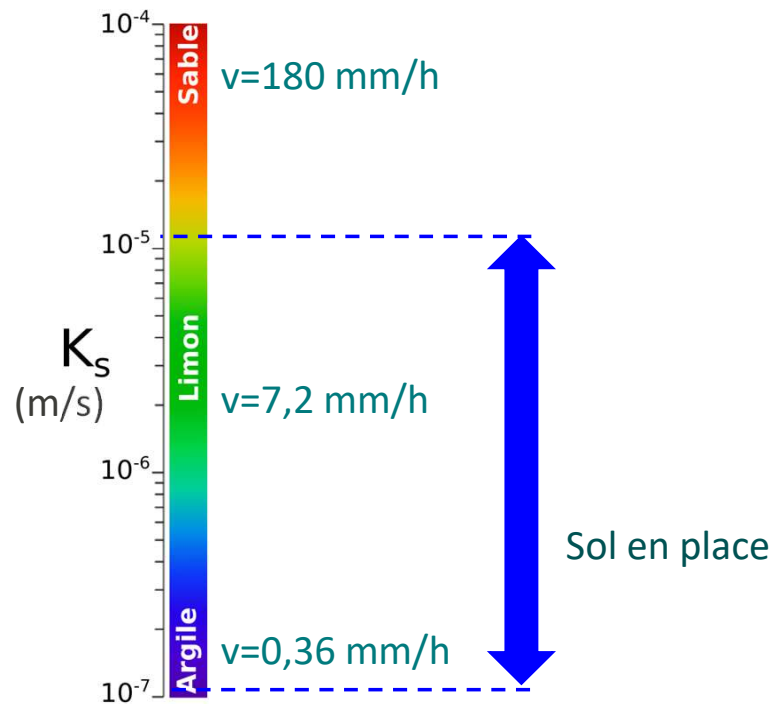





Démontage et
autopsie des pilotes

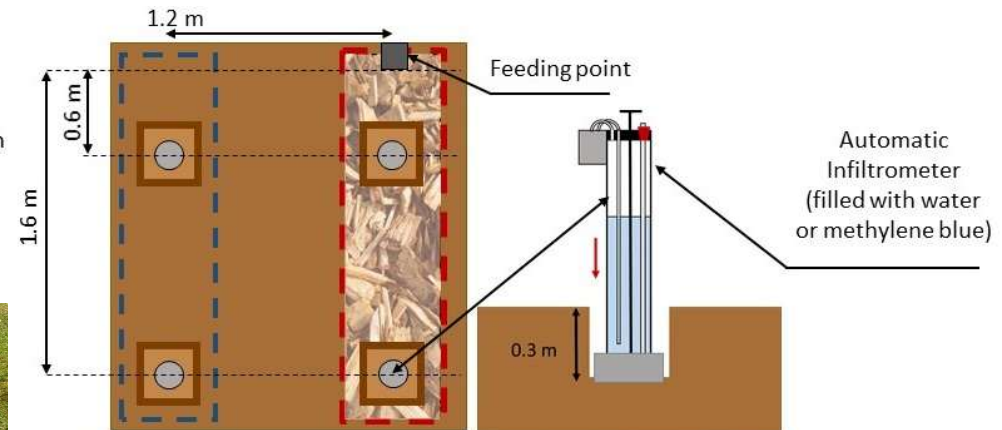
➤ **Projet MATCARB : suivi in-situ**

Une alternative : le broyat de bois comme matériau drainant

Exemple de filtre à broyat de bois (FBB) des sols limono-argileux

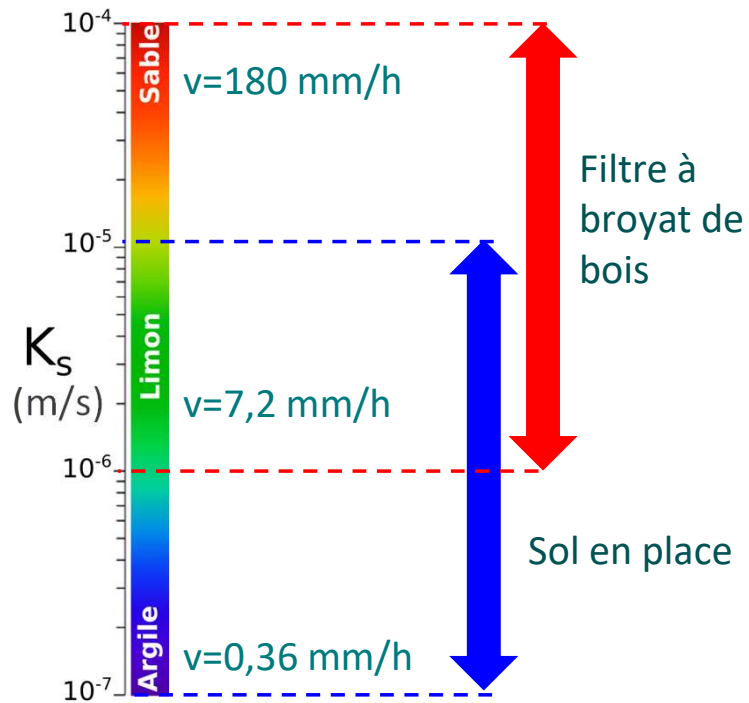


-  Woodchip-filled trench
-  Reference soil
-  Infiltration pit (0.3 m)

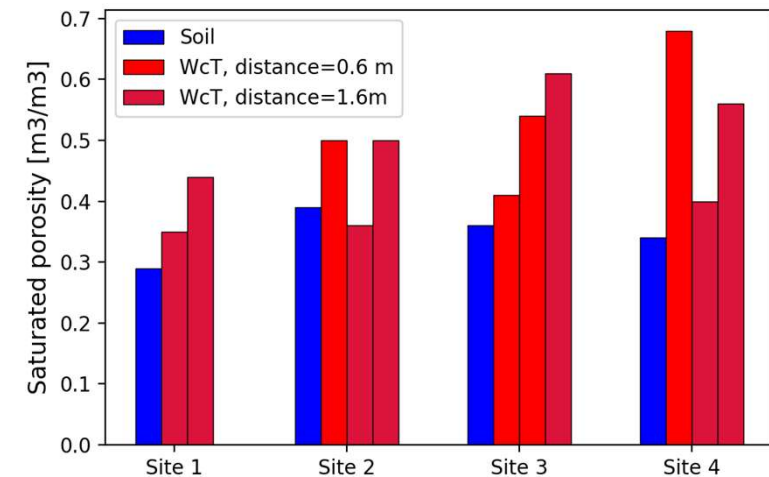
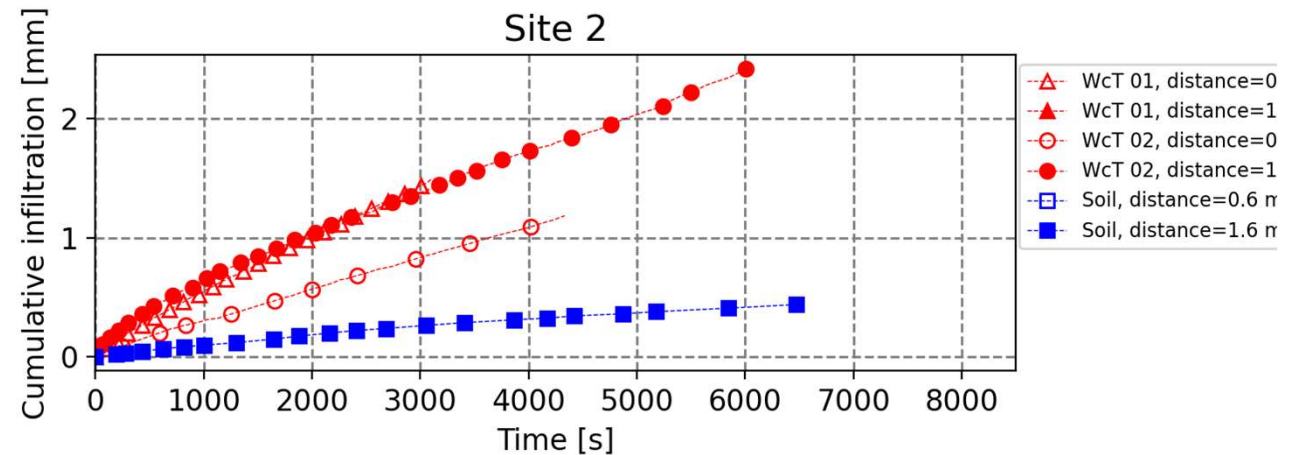


➤ Projet MATCARB : suivi in-situ

Maintien ou amélioration de la capacité d'infiltration



✓ Infiltration favorisée par l'utilisation de broyat de bois dans les filtres.



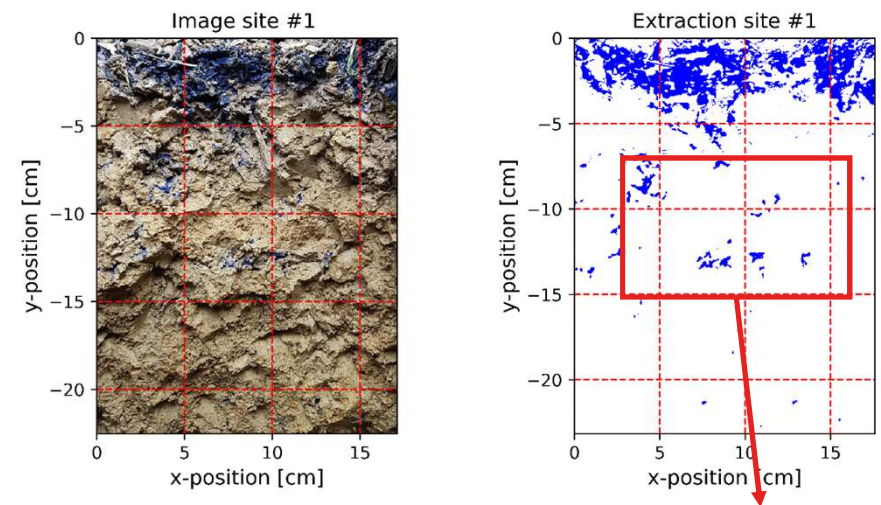
➤ **Projet MATCARB : suivi in-situ** Maintien ou amélioration de la capacité d'infiltration



Comptage des vers de terre

	Site 1		Site 2	Site 3	Site 4
FBB	10	62	64	8	40
Sol	6	27	14	14	5

Essais d'infiltration avec traceur coloré



Les points bleus indiquent la présence de chemins préférentiels

- ✓ Infiltration favorisée par l'utilisation de broyat de bois dans les filtres.
- ✓ Lien entre la faune développée dans le filtre et les résultats de l'infiltration.

➤ Projet MATCARB : Expérimentation en colonnes

Conditions expérimentales



Colonne 1 Colonne 2 Colonne 3 Colonne 4

Composition des colonnes

2022

- Sol : Limoneux argileux remanié
- Effluent : EUT
- Alternance : 3,5 jours alimentés / 3,5 jours au repos



2023 et 2024

- Sol : Limoneux argileux remanié
- Effluent : EUT et sortie premier étage de FPR
- Alternance : 3,5 jours alimentés / 10,5 jours repos



Pilotes expérimentaux

➤ Projet MATCARB : Expérimentation en colonnes

Suivi analytique de la matrice liquide

- Suivi des paramètres physico-chimiques : Une mesure toutes les 10 min (24/24 - 7/7)

Balances (E, S, colonnes)	Redox (E,S)	Température (E, S, colonnes)	pH (E, S)	Conductivité électrique (E, S)
---------------------------	-------------	------------------------------	-----------	--------------------------------

- Analyses :

Paramètres majeurs :

MES
 DCO DBO₅ COT /COD
 NKT NO₃⁻/NO₂⁻ NH₄⁺
 PT PO₄³⁻

Performances
épuration et processus
ayant lieu

Ions :

Cl⁻ SO₄²⁻
 K⁺ Na⁺ Ca²⁺ Mg²⁺
 TAC (HCO₃⁻ + CO₃²⁻ + bases fortes OH⁻)
 TA (CO₃²⁻ + bases fortes OH⁻)

Échanges ioniques, processus
biogéochimiques, dégradation de la qualité
du sol, modélisation transport réactif

Pathogènes :

Escherichia Coli
 Coliformes Totaux
 Entérocoques intestinaux
 Spores de microorganismes anaérobies sulfite - réducteurs
 Légionnelle spp
 Bactériophages ARN- spécifique

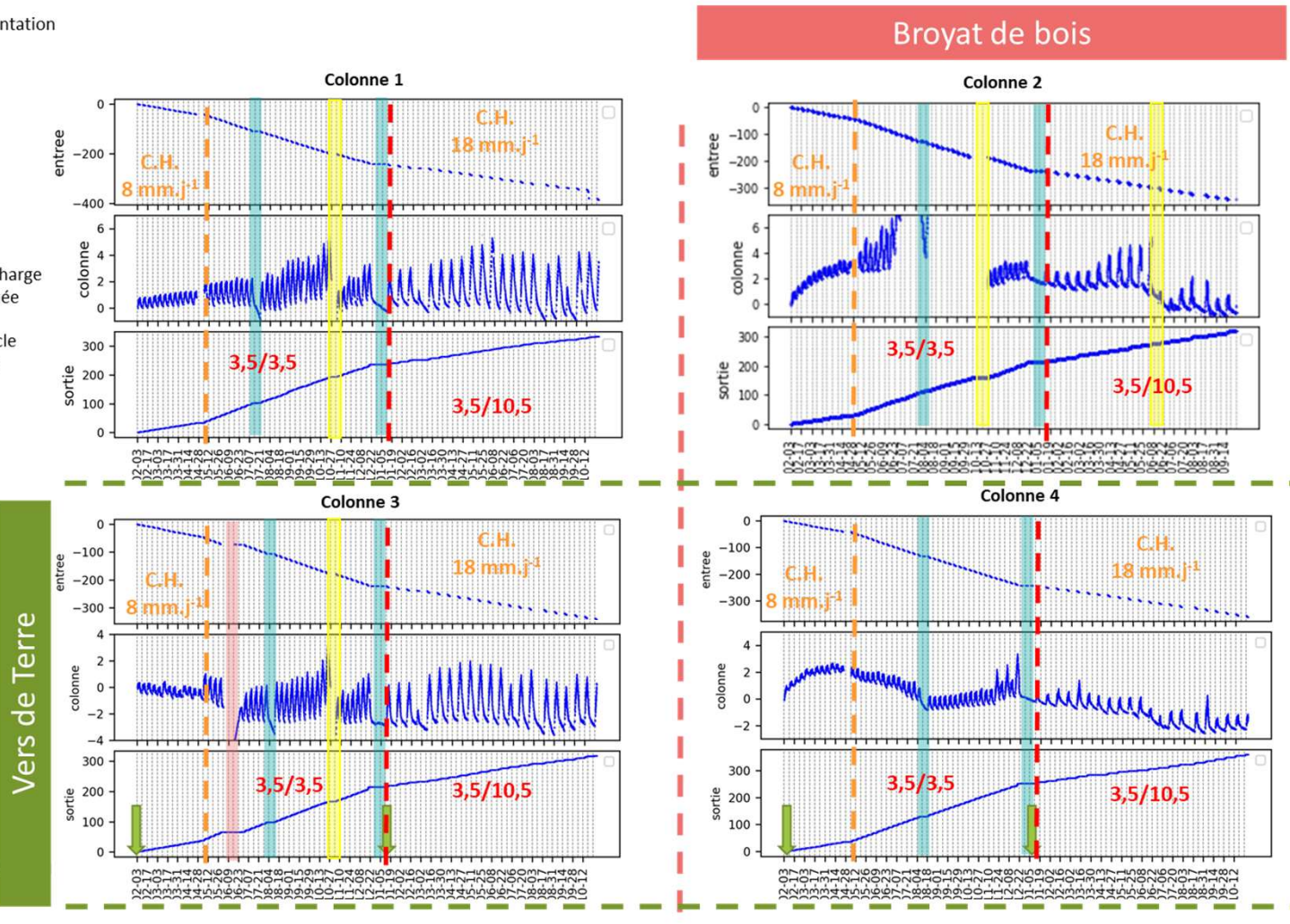
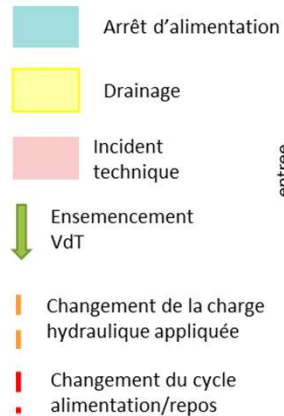
Le sol comme un système de traitement tertiaire (désinfection)?

Micropolluants :

41 molécules, principalement
 médicamenteuses

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Résultats suivi hydraulique : Poids des balances

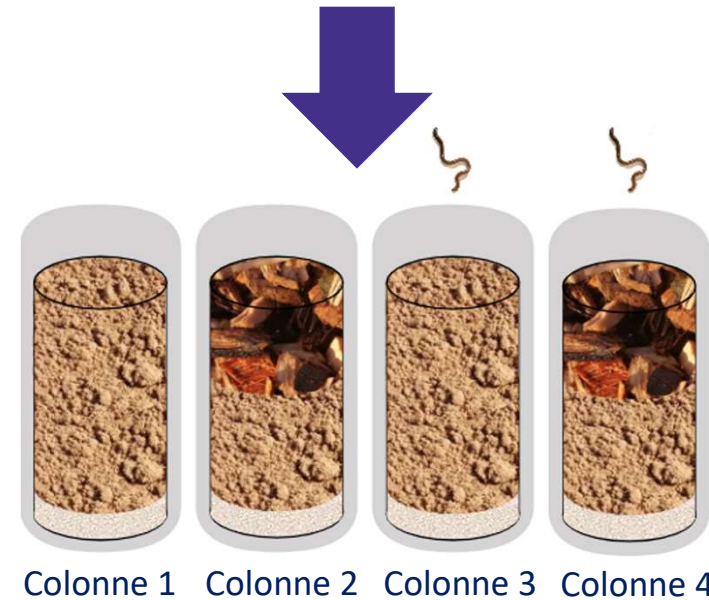
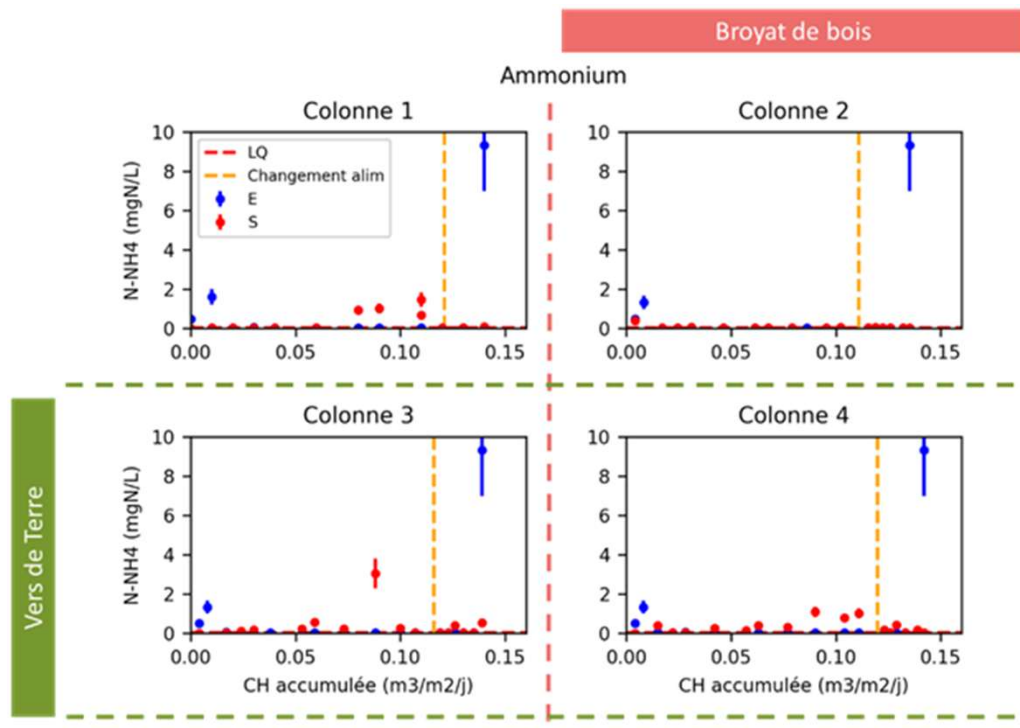


INRAE

Journée de restitution
 Septembre 2025

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Résultats suivi physico-chimique : Ammonium

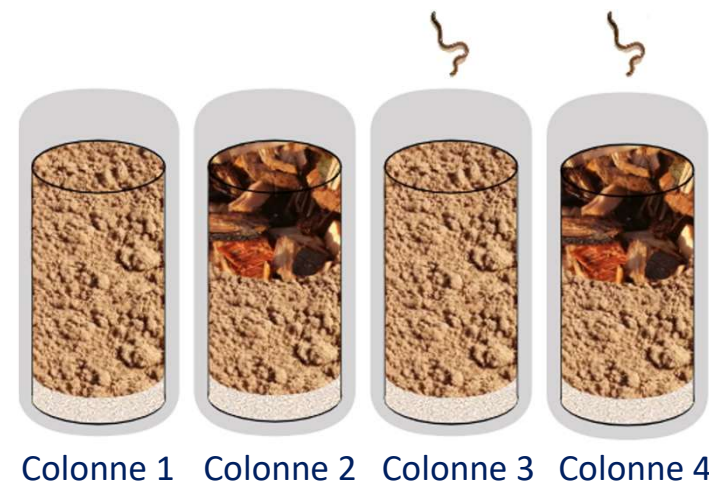
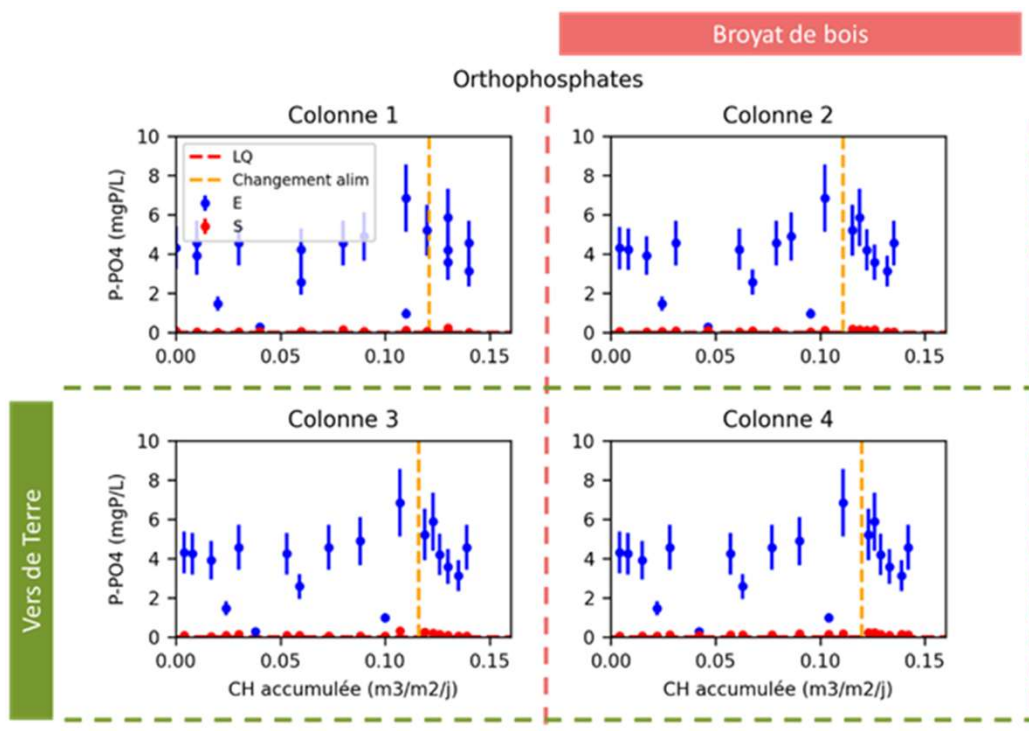


98% d'abattement sur l'ammonium, quelque soit le type d'eau et la colonne

Nitrification

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Résultats suivi physico-chimique : Orthophosphates



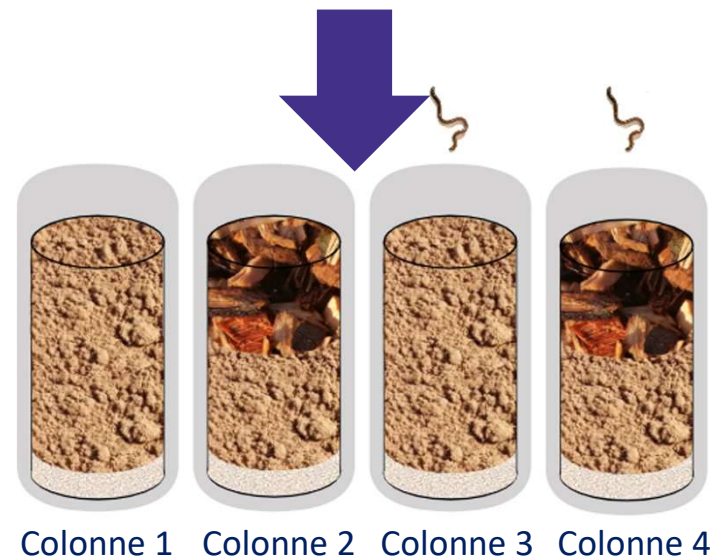
Abattement de la charge en
orthophosphates entre 65 et 99%



Adsorption par les argiles et les
oxydes/hydroxydes de fer

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Résultats suivi physico-chimique : Indicateurs de pathogènes

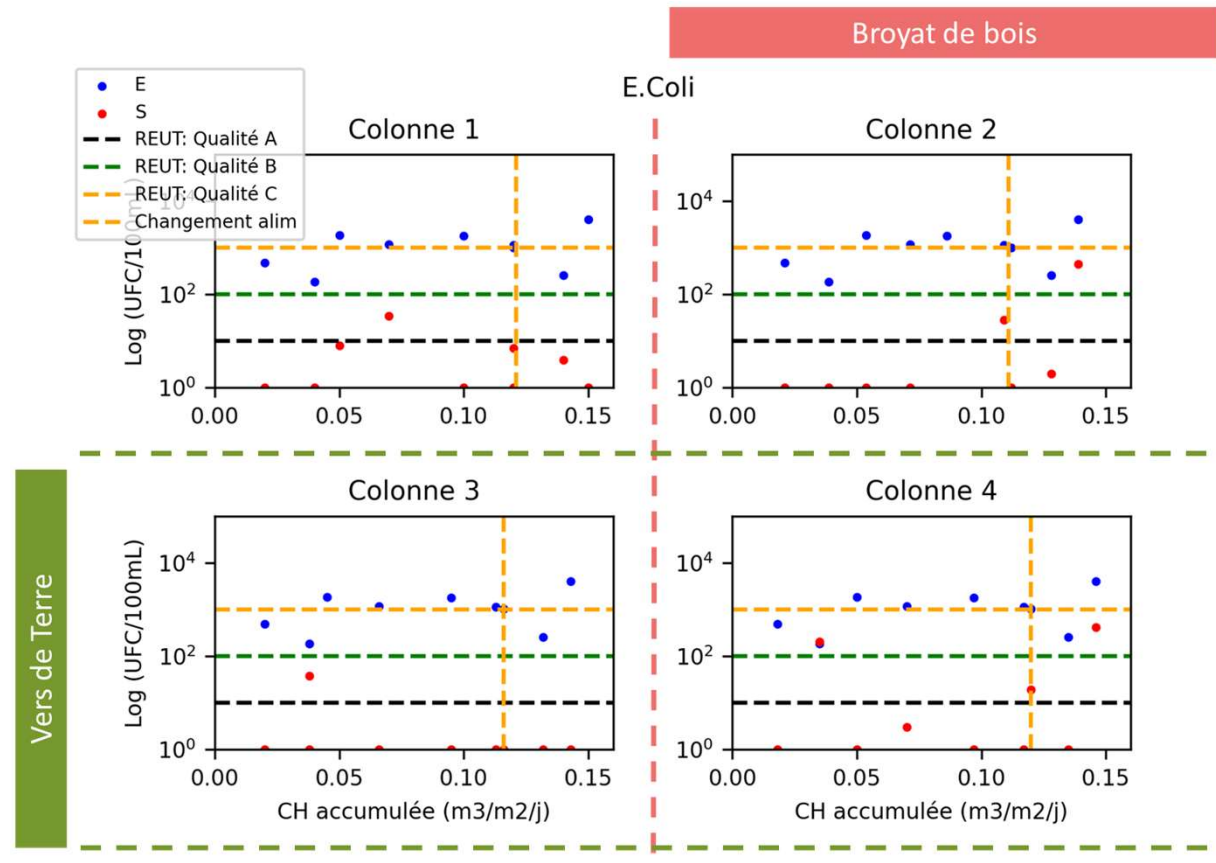


Abattement différencié selon les colonnes : importance du temps de rétention

Au moins 2log d'abattement et jusqu'4log sauf pour Coliformes totaux

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Résultats suivi physico-chimique : Indicateurs de pathogènes

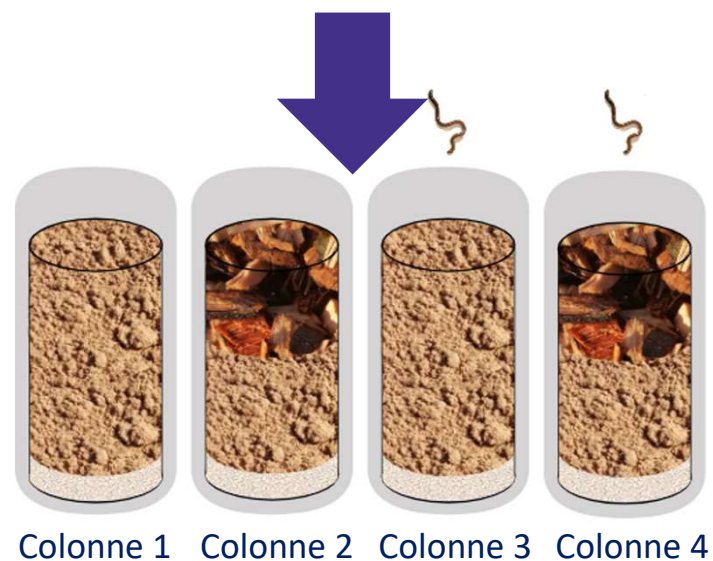


Eaux de sortie de qualité REUT A ou B

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Résultats suivi physico-chimique : Micropolluants

41 molécules quantifiées
Concentrations entre 10 et 10 000 ng/L



Entre 70 et 99% d'abattement selon les
molécules, sur toutes les colonnes

20 molécules quantifiées
Concentrations entre 1 et 1400 ng/L

➤ Programme MATCARB : Expérimentation colonnes

Fin du projet : démontage et autopsie des colonnes

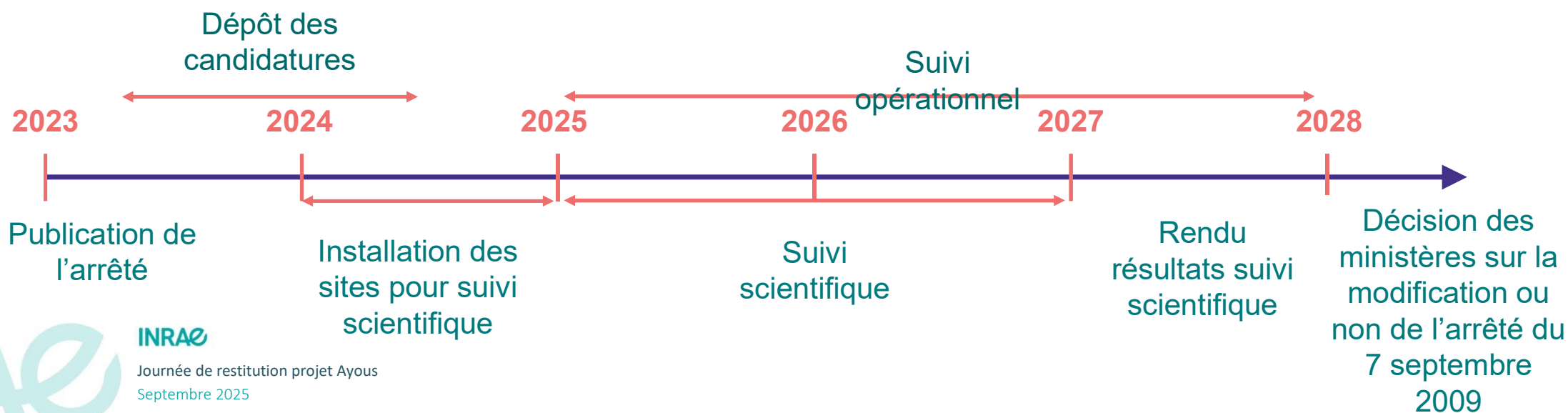
- Démontage des colonnes premier semestre 2026
→ Autopsier les colonnes pour voir ce qu'il s'est passé dans le sol et dans le broyat de bois
- Analyses :
 - Hydraulique : Conductivité hydraulique à saturation, densité, porosité, agrégation, ect.
 - Physico-chimie : granulométrie, masse volumique, perte au feu, calcaire total, carbone organique total, azote total, minéraux, phosphore, et micropolluants.
- Différents laboratoires / partenaires
- Thèse de Margot Coisnon (2024-2027) : Amélioration de l'efficacité des tranchées d'infiltration des eaux urbaines à partir de broyat de bois
→ Données plus précises sur le transfert du carbone et de son évolution dans le sol.

INRAE

➤ Projet France Expérimentation

➤ Projet France Expérimentation : contexte

- Dispositif interministériel France Expérimentation : lever des obstacles juridiques empêchant la réalisation de projets économiques innovants;
- Arrêté du 30 mars 2023 relatif au traitement des eaux ménagères par filtres à broyat de bois : demande de dérogation à l'arrêté du 7 septembre 2009 relatif à l'assainissement non-collectif déposée par le RAE (installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5 soit <20 EH);
- Expérimentation menée sur 5 années sur 30 sites pour deux types de suivis : un suivi opérationnel (30 sites/30) et un suivi scientifique (4 sites sur 30).



➤ Projet France Expérimentation : contexte

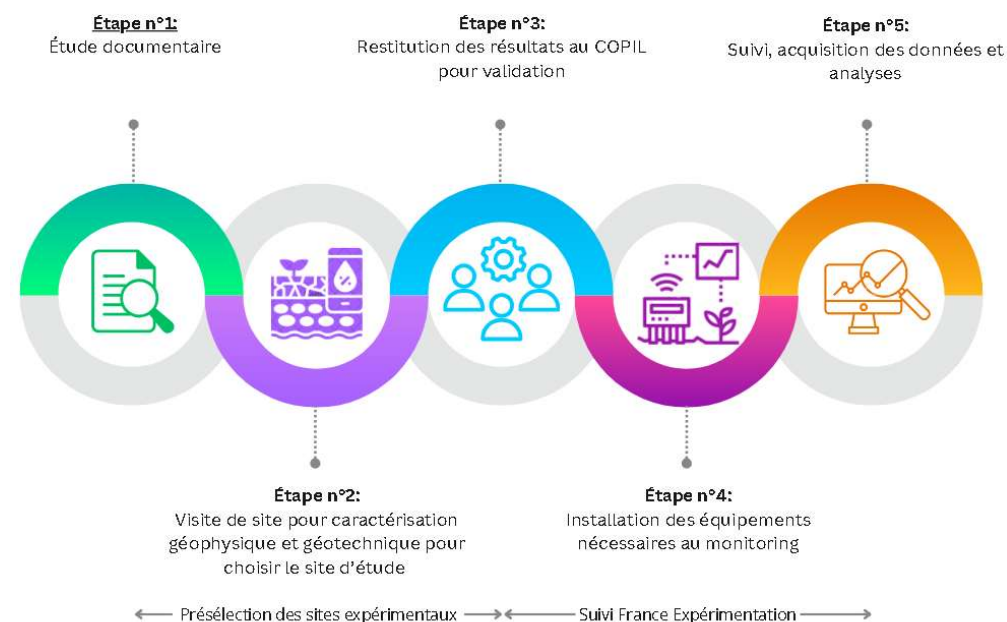
Objectifs et démarche du suivi scientifique

Objectifs Suivi scientifique

INRAE laboratoire retenu pour le suivi expérimental des sites

- Validation des performances et capacités hydraulique des filtres;
- Contrôle des performances épuratoires et des risques sanitaires possibles;
- Confirmation du dimensionnement préconisé vis-à-vis des charges appliquées.

Démarche Suivi expérimental



➤ Projet France Expérimentation : suivi scientifique

Etudes préliminaires et choix des sites

- Sept sites visités pour caractérisation géophysiques :
→ Quatre sites retenus



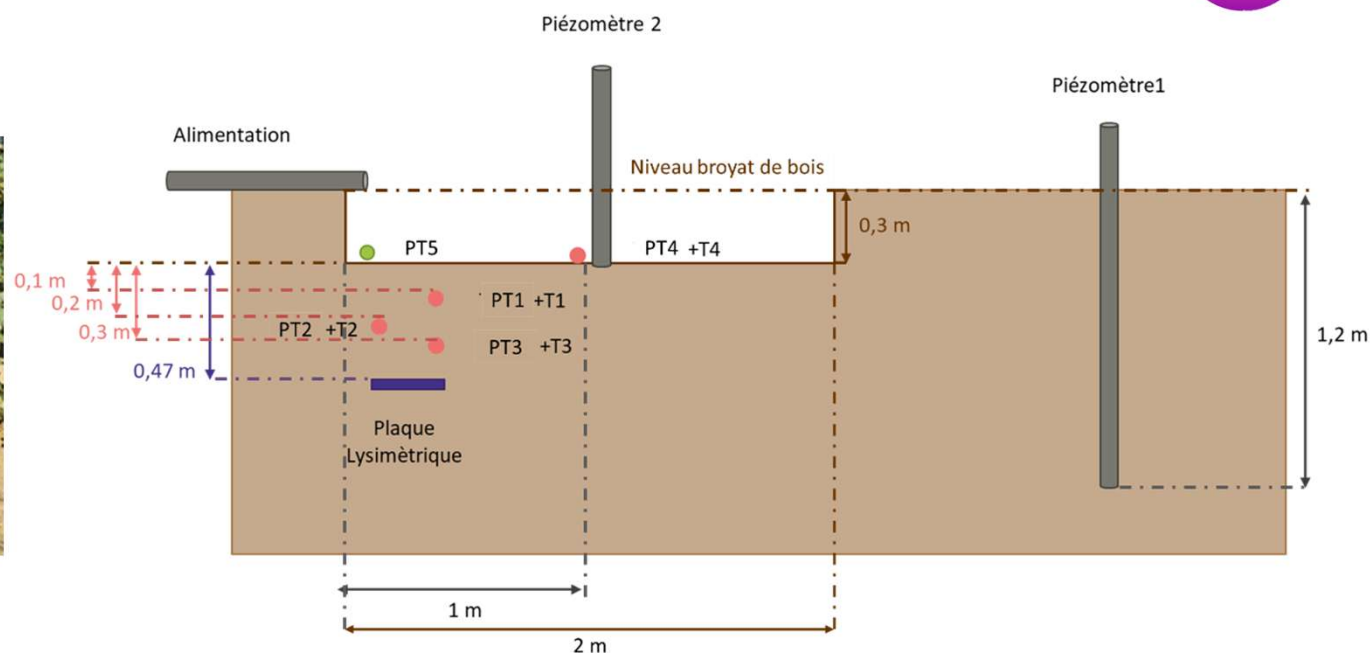
	Localisation	Nombre Résidents permanents / EH	Type eaux	Alimentation	Nombre de filtres	Type de sol	Ks	Type d'habitation
Site 2	Maine-et-Loire	4 / 5	Ménagères	Pompe de relevage	5	Limono-argileux (présence de tuf)	10^{-5} m/s, ou 6 mm/h	Individuel
Site 4	Hautes-Pyrénées	7 / 10	Ménagères + urines	Gravitaire	10	Limono-argileux	10^{-5} m/s, ou 6 mm/h	Individuel
Site 6	Saône-et-Loire	9 / 10	Ménagères	Pompe de relevage	7	Limono-argileux	10^{-8} m/s, ou 0,006 mm/h	Collectif
Site 7	Gers	4 / 8	Ménagères + urines	Gravitaire	8	Limono-argileux	10^{-5} m/s, ou 6 mm/h	Individuel

➤ Projet France Expérimentation : suivi scientifique

Installation de l'instrumentation sur les sites



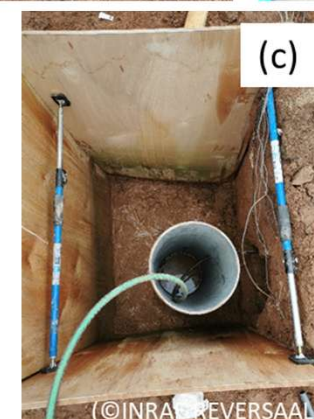
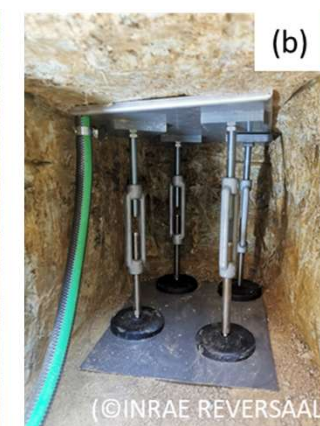
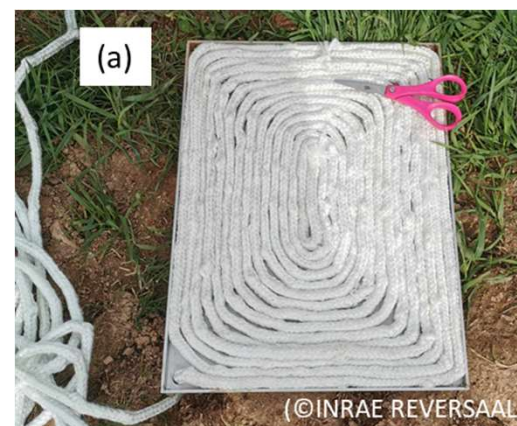
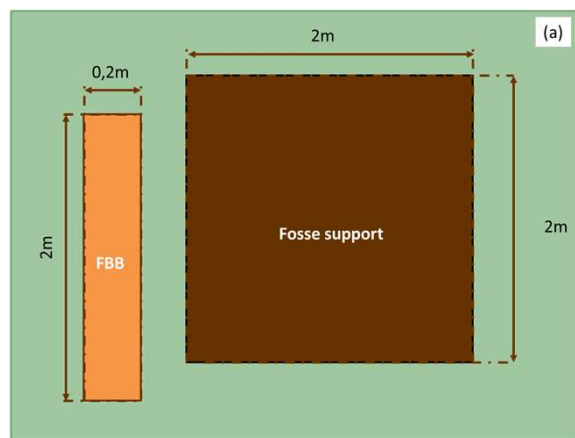
Exemple d'installation pour le suivi scientifique (site 7)



Positionnement des instruments de mesure permettant le suivi du filtre à broyat de bois

➤ Projet France Expérimentation : suivi scientifique

Installation de l'instrumentation sur les sites : sous le FBB

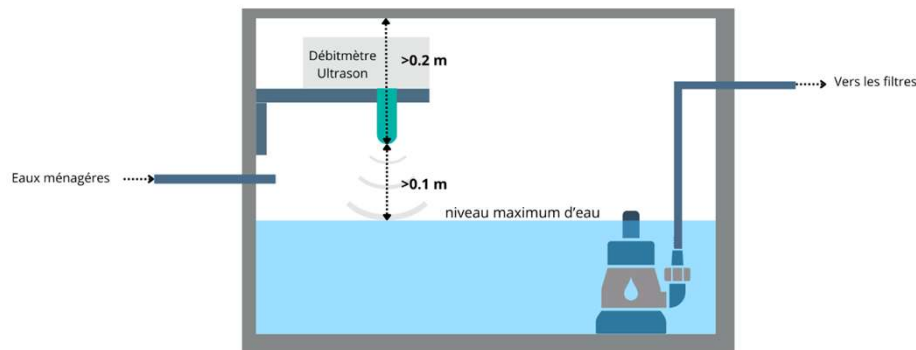


Fosse support pour l'installation du matériel de mesure : (a) schéma du positionnement de la fosse support (vue du dessus) et (b) photographie de la fosse support en utilisation

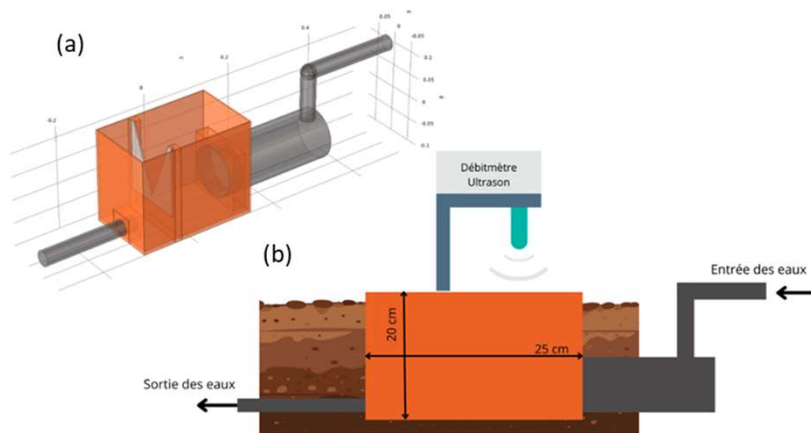
Photographies du système de prélèvement des eaux infiltrées dans le sol : (a) plaque lysimétrique et corde en fibre de verre ; (b) emplacement de la plaque lysimétrique (vue de coté) et (c) regard de prélèvement lors de l'installation (vue de dessus)

➤ Projet France Expérimentation : suivi scientifique

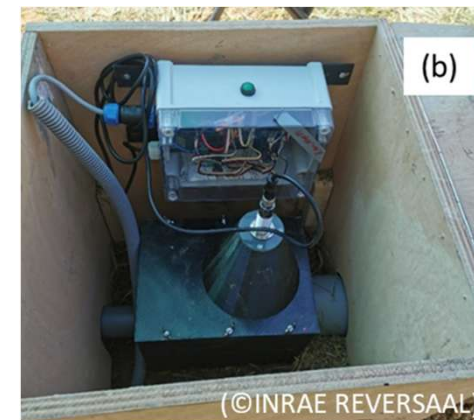
Installation de l'instrumentation sur les sites : suivi des volumes entrants



Système de mesure de la hauteur d'eau dans un regard de relevage



Débitmètre à seuil triangulaire pour une alimentation gravitaire : a) schéma 3D du dispositif et b) mise en œuvre dans le sol



Photographies des systèmes de mesure de débit : (a) dans un regard de pompe de relevage et (b) avec un débitmètre à seuil

➤ Projet France Expérimentation : suivi scientifique

Paramètres mesurés et analysés



- Mesure de la teneur en eau (sondes TDR), de la hauteur d'eau (piézomètres) et du débit d'alimentation (débitmètre déversoir) en continu par capteurs
- Essais d'infiltration à deux positions dans la tranchée d'infiltration
- Comptage de la macro faune (aux emplacements des essais infiltration)

Pathogènes :

Escherichia Coli
Coliformes Totaux
Entérocoques intestinaux
Spores de microorganismes anaérobies sulfite - réducteurs
Légionnelle spp
Bactériophages ARN- spécifique

Paramètres majeurs :

MES
DCO DBO₅ COT /COD
NKT NO₃⁻/NO₂⁻ NH₄⁺
PT

Ions :

Cl⁻ SO₄²⁻
K⁺ Na⁺ Ca²⁺ Mg²⁺
TAC (HCO₃⁻ + CO₃²⁻ + bases fortes OH⁻)
TA (CO₃²⁻ + bases fortes OH⁻)

- Eaux entrée et « sortie » dans le sol grâce à la plaque lysimétrique
- Fonction du volume effectivement prélevé en « sortie »

➤ Projet France Expérimentation : suivi scientifique

Avancées et planning prévisionnel

- Année 2025 : 3 campagnes de prélèvements et de récupération des données des centrales de mesures par sites
 - Pas de dysfonctionnement majeur des instruments de mesure,
 - De l'eau a pu être prélevée à chaque fois sur en sortie des filtres, mais avec parfois des quantités insuffisantes pour effectuer toutes les analyses.
- Année 2025 : 3 nouvelles campagnes prévues

INRAE

➤ Conclusion

➤ Projet MATCARB et France Expérimentation scientifique

Conclusions et perspectives

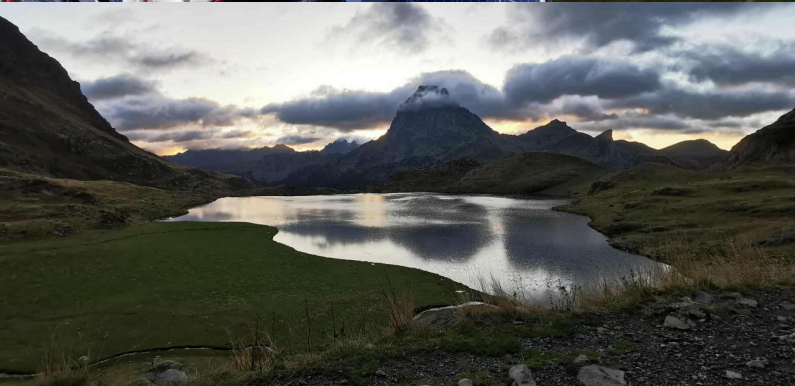
- Résultats acquis en laboratoire:
 - Maintien des performances d'infiltration
 - Rétention forte de polluants en laboratoire (en cours sur le terrain)
 - Traitement des majeurs (mettre chiffre)
- Résultats acquis sur le terrain :
 - Maintien ou amélioration de l'infiltration
- S'assurer de la pérennité du dispositif (infiltration + performance de traitement) sur 2 ans
- Finalisation des livrables : 1^{er} trimestre 2027 MATCARB et 4^{eme} trimestre pour France Expérimentation



INRAE

Journée de restitution projet Ayous
Septembre 2025





> Projet MATCARB : Expérimentation en colonnes

Suivi des micropolluants

Maladies cardiaques et diabètes	Anti arythmique	Sotalol
		Flecainide
		Disopyramide
	Anti hypertenseur	Valsartan
		Atenolol
		Irbersartan
		Propranolol
		Bisoprolol
		Acebutolol
		Celiprolol
	Vasodilatateur	Verapamil
	Contre Cholestérol	Atorvastatin
		Rosuvastatin
	Anticoagulant	Apixaban
		Rivaroxaban
	Antidiabétique	Sitagliptin

Antidouleurs et maladies neurologiques	Anti inflammatoire	Diclofenac
		Nilfumic Acid
	Anti-dépresseurs	Amisulpride
		Citalopram
	Anxiolytique	Oxazepam
	Antiepileptique	Aoxcarbazepine
		Carbamazepine-10.11-epoxid
		Lamotrigine
	Anti convulsif	Carbamazepine
	Antihistaminique	Cetirizine
		Fexofenadine
	Anticholinergique	Trospium
	Metabolite Methadone Opioide	ED DP
	Myorelaxant	Methocarbamol
	Neuroleptique	Tiapride

Biocides	Anti-infectieux	Sulfamétoxazole
	Antibiotique	Triméthopim
		Erythromycin
		Azithromycin
		Roxithromycin
	Antiviral grippe	Amantadine
	Antifongique	Fluconazole
	Agent dénaturant, répulsifs produits ménagers	Bitrex (Denatonium)
	Vétérinaire	Levamisole
	Herbicide	Diuron

41 molécules ciblées

➤ Surface d'infiltration avec broyat de bois

Une solution fondée sur la nature vertueuse et qui s'auto-entretien?

Utilisable pour tous les types
d'eaux urbaines



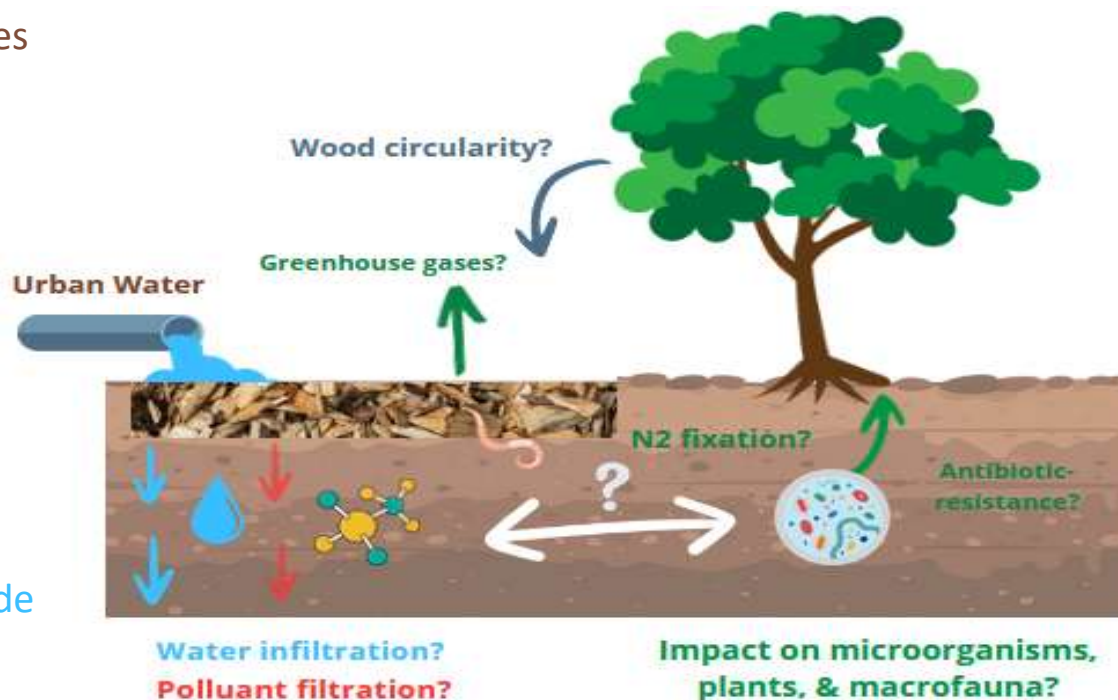
Vrai pour le pluvial et
décentralisé mais projets
STEU non aboutis pour le
moment

Amélioration ou maintien de
l'infiltration



Comment alimenter les
surfaces d'infiltration BB ?

évaluation projet n°404
2025



Utilisation circulaire du bois qui
pousserait autour (feuillus)



Approvisionnement en BB ?

Traitement des polluants
(majeurs, bio-indicateurs et
μpolluants)



Quid du sol une fois que la surface
d'infiltration n'est plus utilisée ?