

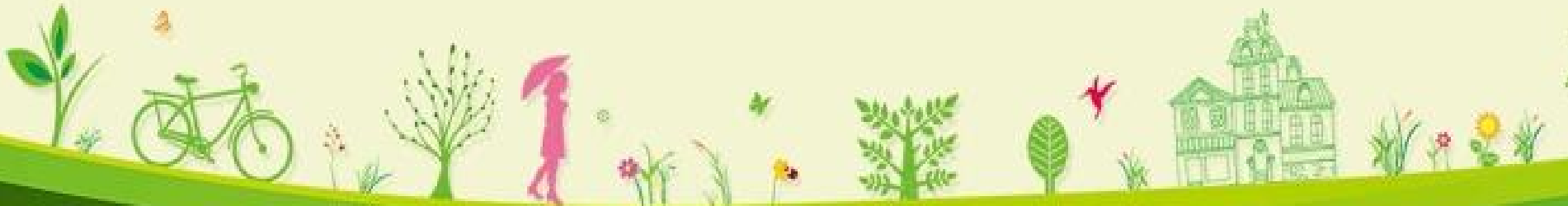
Devenir des micropolluants organiques dans les sols des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales

Interactions diversité microbienne et biodégradabilité des micropolluants



Andréa Oudot (thèse)

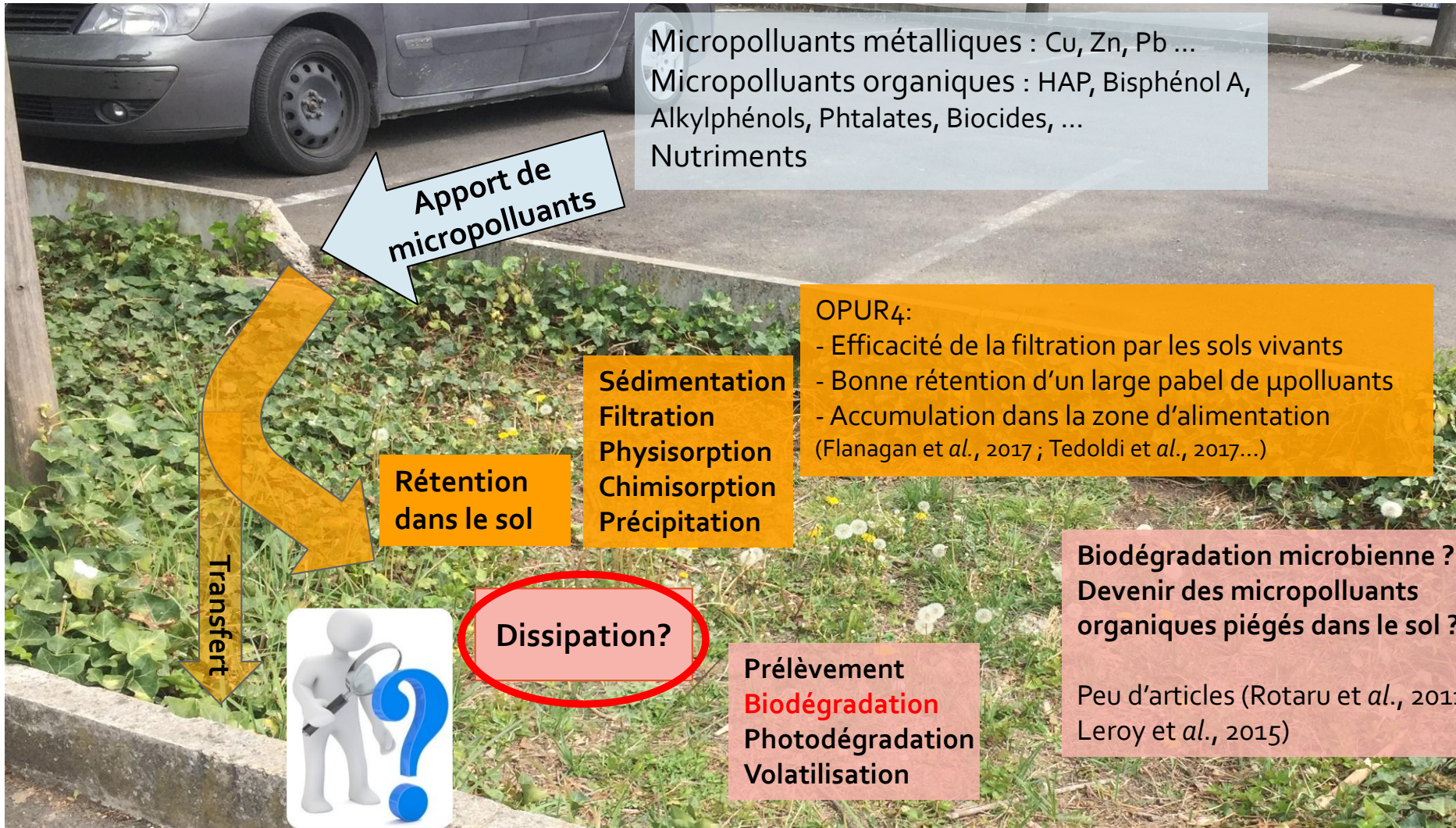
W. Achouak, V. Alphonse, M. Barakat, L. Boudahmane, E. Caupos, A. Livet
Marie-Christine Gromaire, Nouredine Bousserrhine (directeur de thèse)





Les micropolluants dans les ouvrages de gestion intégrée des eaux pluviales

Processus en jeu dans les ouvrages d'infiltration





Objectifs

1^{er} objectif

Caractérisation des communautés microbiennes dans le sol des ouvrages

⇒ afin de pouvoir expliquer les capacités de biodégradation microbiennes en fonction du contexte

- Sollicitation hydrologique
- Niveau de contamination en micropolluant
 - Propriétés du sol
 - Végétation
 - Âge de l'ouvrage

2^{ème} objectif

Étude des processus de biodégradation microbienne

⇒ pour déterminer l'implication de la partie biotique dans l'efficacité des ouvrages

- Mécanismes de biodégradation
- Communautés microbiennes impliquées
 - Cinétique de biodégradation



Ouvrages sélectionnés

3 sites de voirie à fort potentiel de contamination, 5 ouvrages,
11 sols étudiés

Sites	Type ouvrage	Texture du sol	Âge	Végétation
Dourdan	Bassin d'infiltration	Limon sableux	25 ans	Herbacée / buissons
Vitry	Noue filtrante	Limon	15 ans	Herbacée Arbres
Compans	2 Bandes enherbées (B1, B2) 1 Noüe filtrante (N)	Limon fin (B1) Limon sableux (B2) Limon sableux (N)	1 an 1 an 5 ans	Prairie Prairie Carex

Compans
Bandes enherbées 1/2



Compans
Noüe



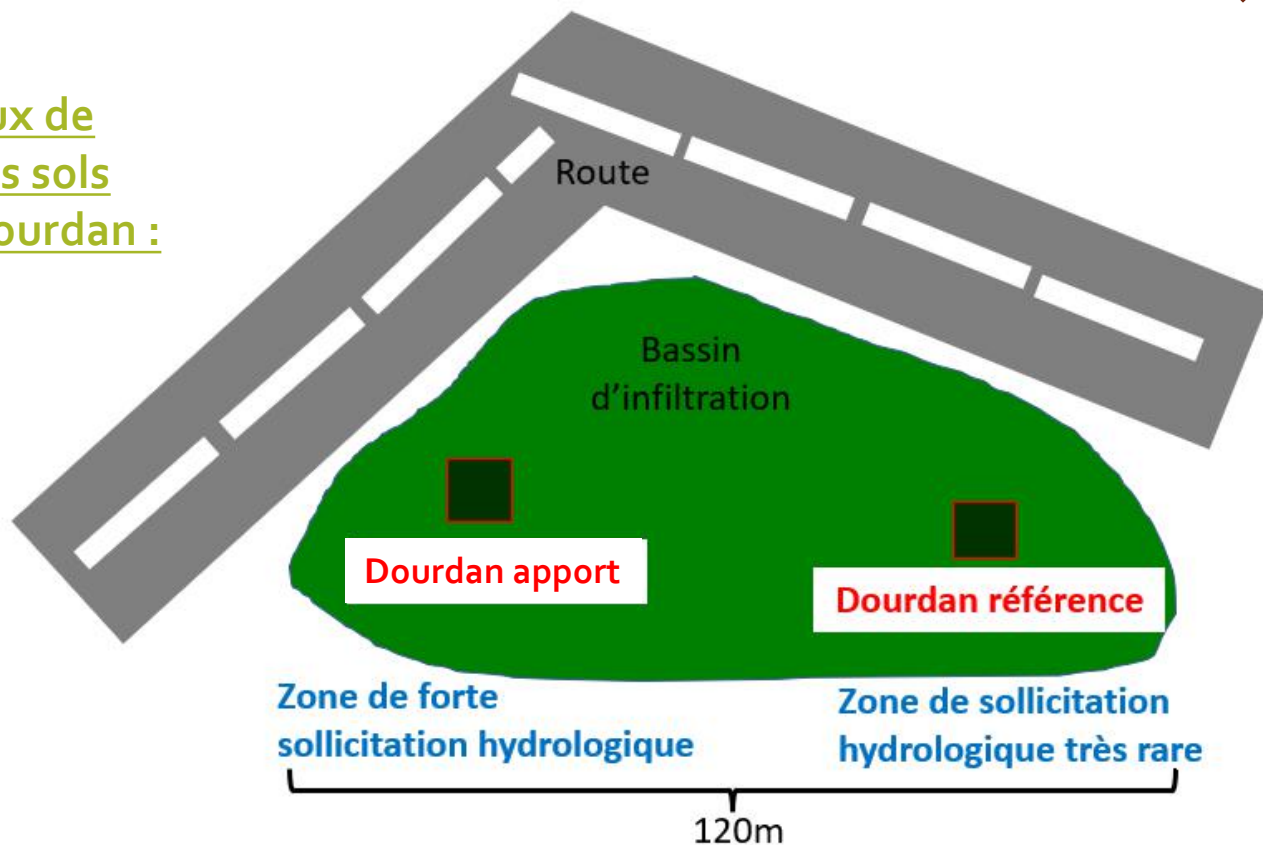
Dérasement juin 2020
(1 an avant échantillonnage)





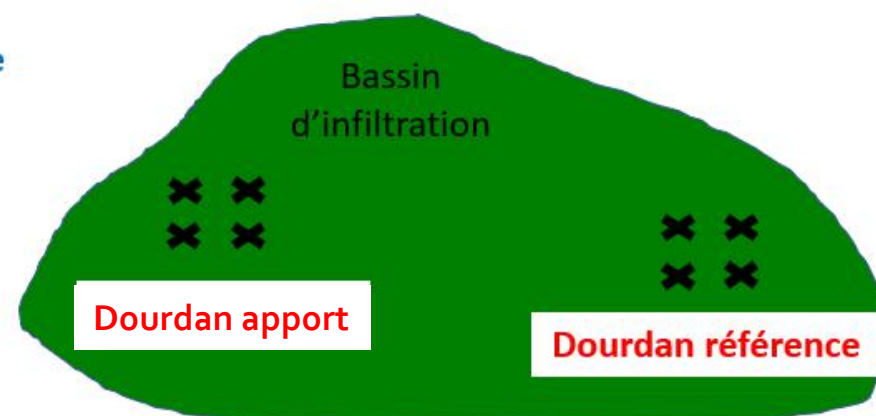
Dourdan – bassin d'infiltration (2 sols)

Schéma des lieux de prélèvement des sols composites – Dourdan :



Dourdan apport

Dourdan référence

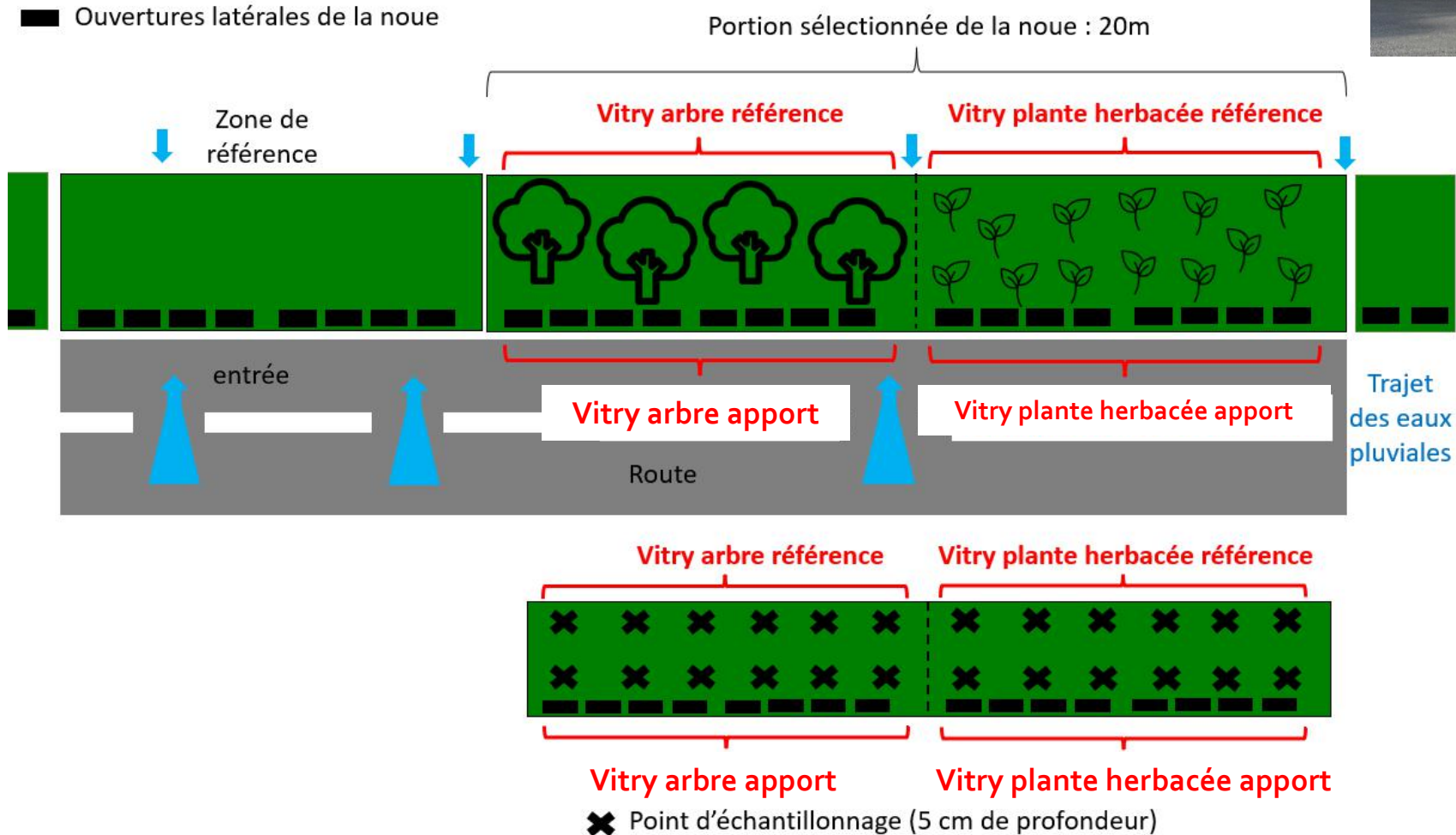


✘ Point d'échantillonnage (10 cm de profondeur)



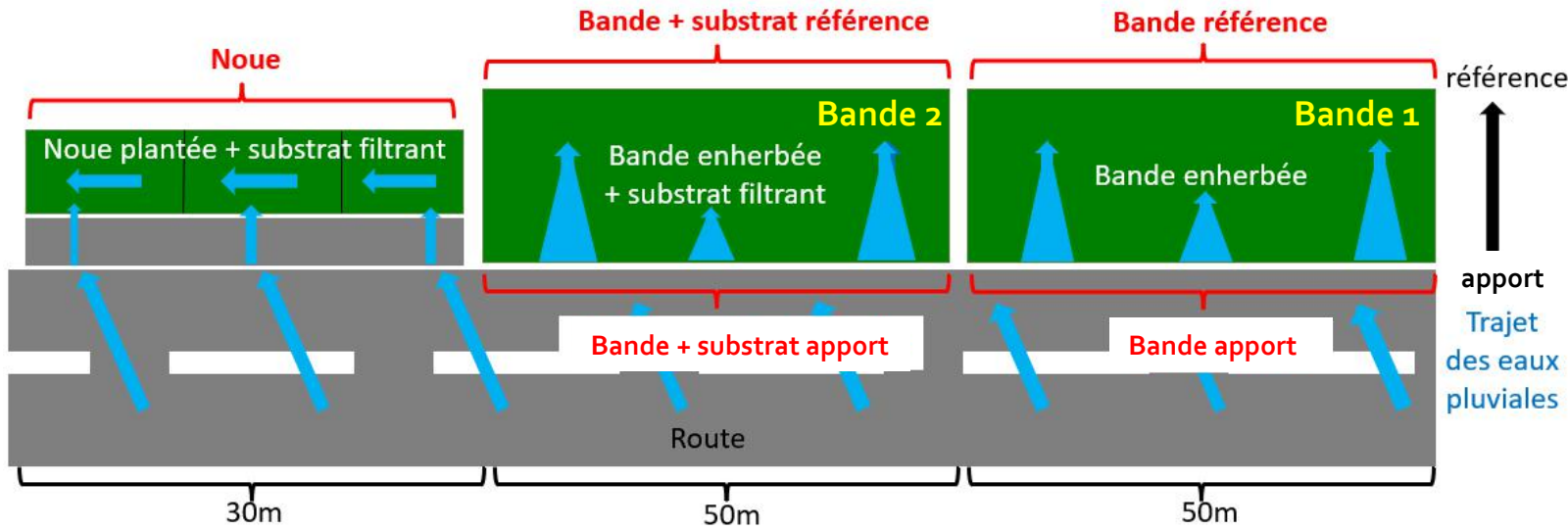
Vitry – noue filtrante (4 sols)

Schéma des lieux de prélèvement des sols composites – Vitry :

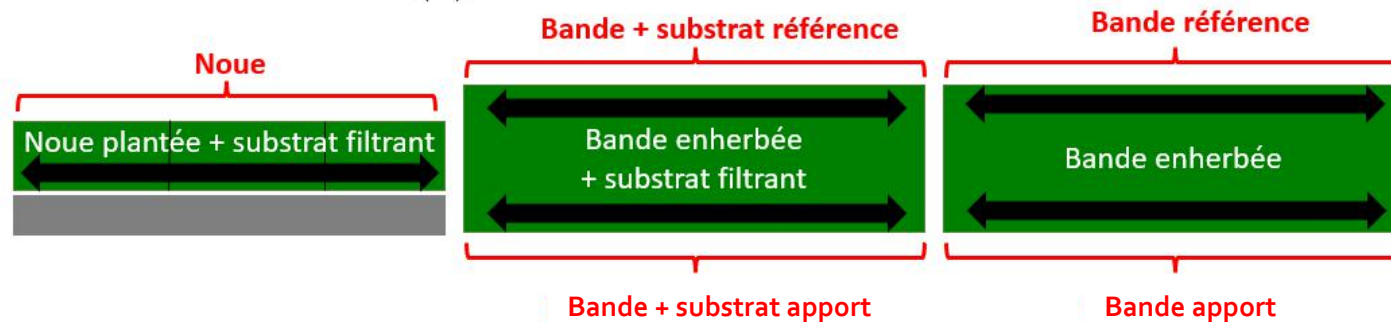


Ouvrages – Compans (5 sols)

Schéma des lieux de prélèvement des sols composites – Compans :



↔ Zone d'échantillonnage (10 cm de profondeur)



Noue



Carex gracilis

Bandes enherbées 1/2





Caractérisation physico-chimique et microbiologique des sols

Analyses physico-chimiques

⇒ Paramètres du sol pouvant influencer les microorganismes et la biodisponibilité des micropolluants

- pH (norme ISO 10390)
- Matière organique (MO)
- Capacité aux champs (CC)
- Capacité d'échange cationique et composition en éléments (CEC et ICP) (norme NF X31-130, mai 1993)
- Granulométrie (été 2021) (norme NF X 31-107, juillet 1993)

Analyses biologiques

⇒ Étude de l'abondance, de l'activité et de la diversité microbienne pouvant influencer la biodégradation des micropolluants

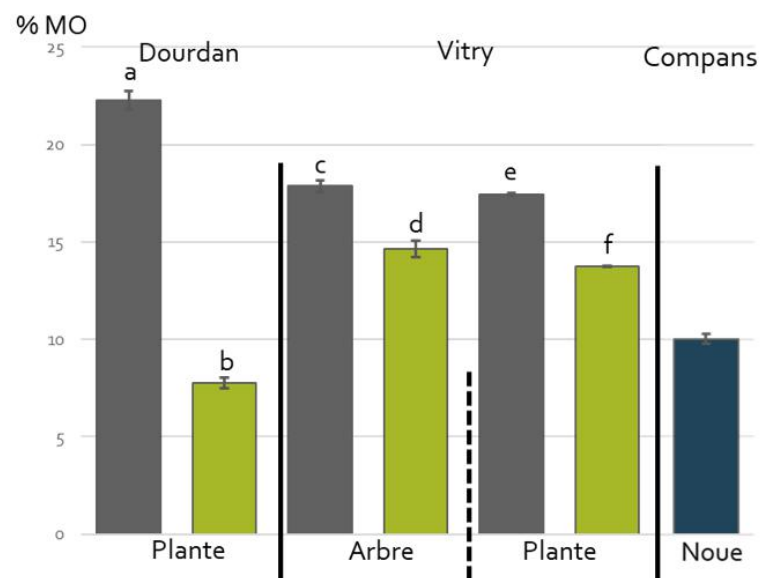
- Biomasse microbienne
 - NPP : *Nombre le plus probable*
- Activité enzymatique :
 - FDA, uréase et déshydrogénase
- Diversité fonctionnelle : (BIOLOG EcoPlate™)
- Diversité génétique : séquençage Illumina
 - 16S V3-V4 : bactéries
 - ITS2 : champignons



Caractérisation physico-chimique des sols – cas des ouvrages anciens

apport

référence



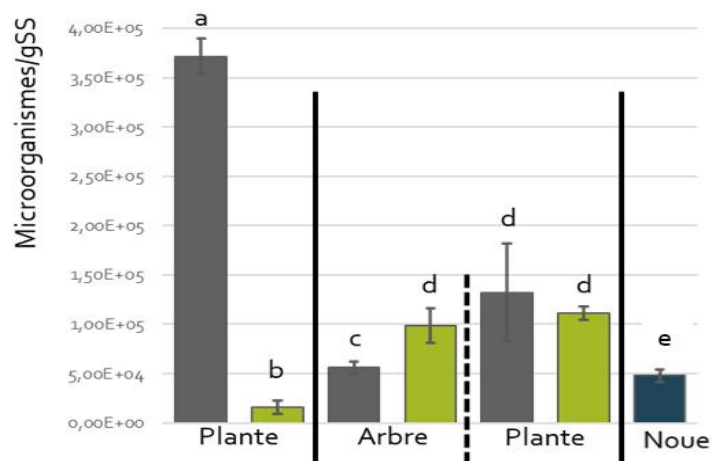
- Dourdan zone d'apport et Vitry = meilleur potentiel de développement microbien
- Dourdan référence et Compans = moins propice à l'activité microbienne
- Différences apport/référence observées

Littérature : 3 à 18% (Deeb et al., 2018; Badin, 2011)



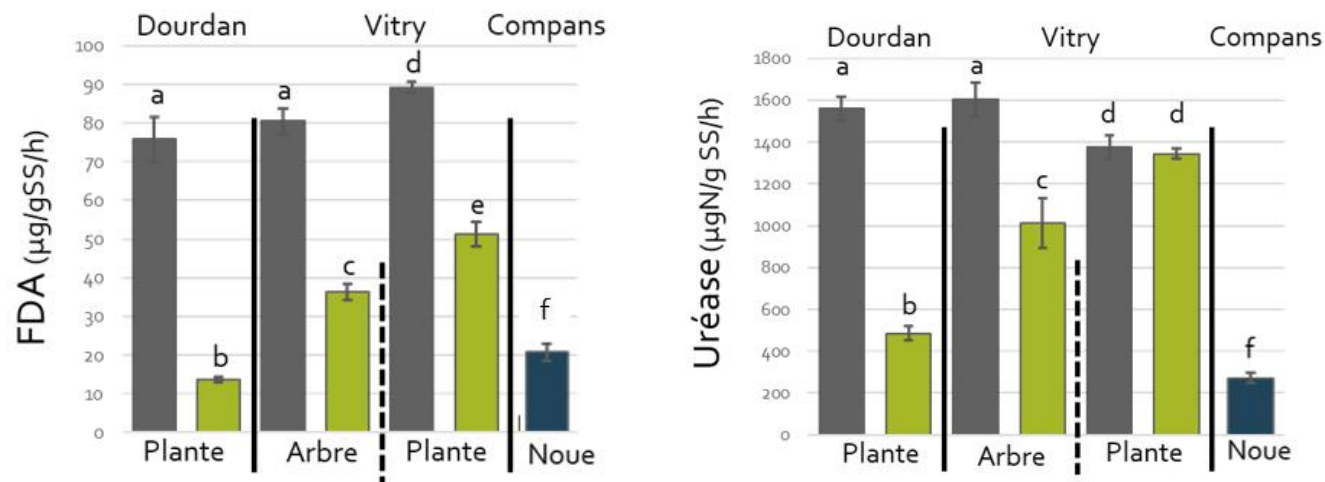
Caractérisation microbiologique des sols – cas des ouvrages anciens (été 2021)

Biomasse microbienne (NPP)



Biomasse très variable, entre sites, au sein d'un même site...

Activités enzymatiques



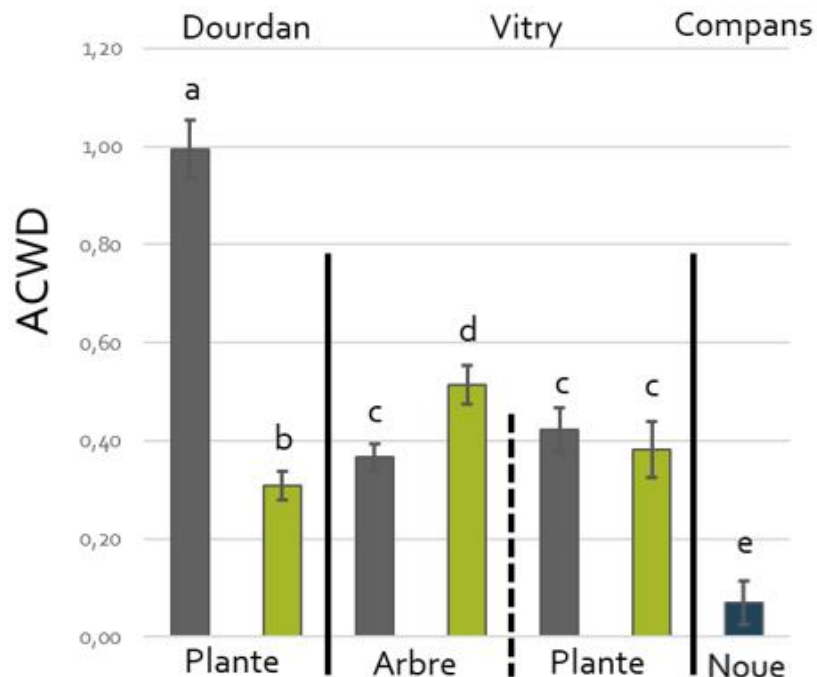
- ⇒ Forte activité enzymatique en zone d'apport de ruissellement, moins forte en référence
- ⇒ Activité faible pour Compans (site + jeune)



Diversité fonctionnelle des communautés microbiennes

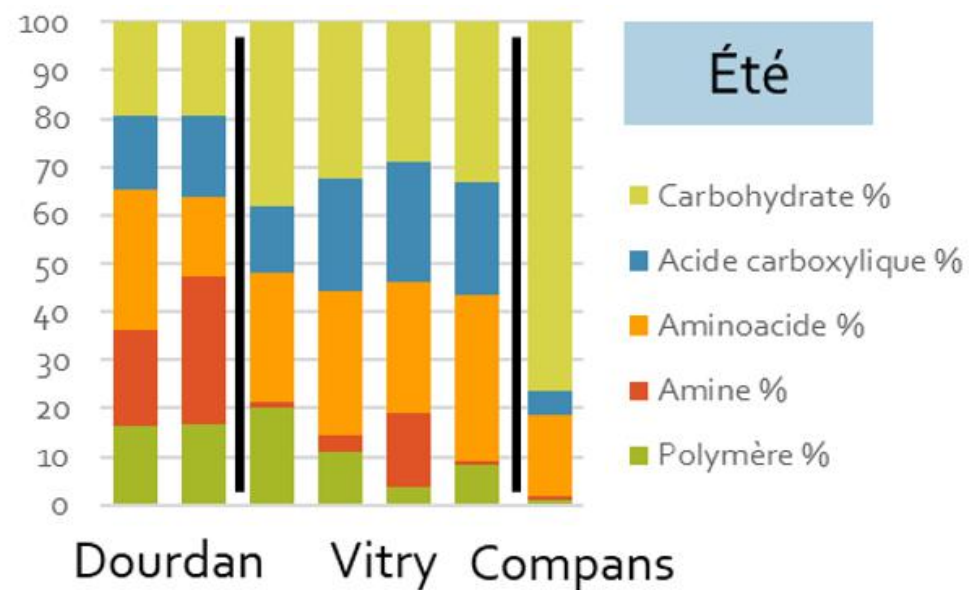
(mesure par Biolog Ecoplate™ – été 2021)

Indicateur d'importance de l'activité microbienne



Activité maximale pour Dourdan zone d'apport EP
Activité + faible pour Compans Noue

Répartition de l'activité microbienne par familles de substrats



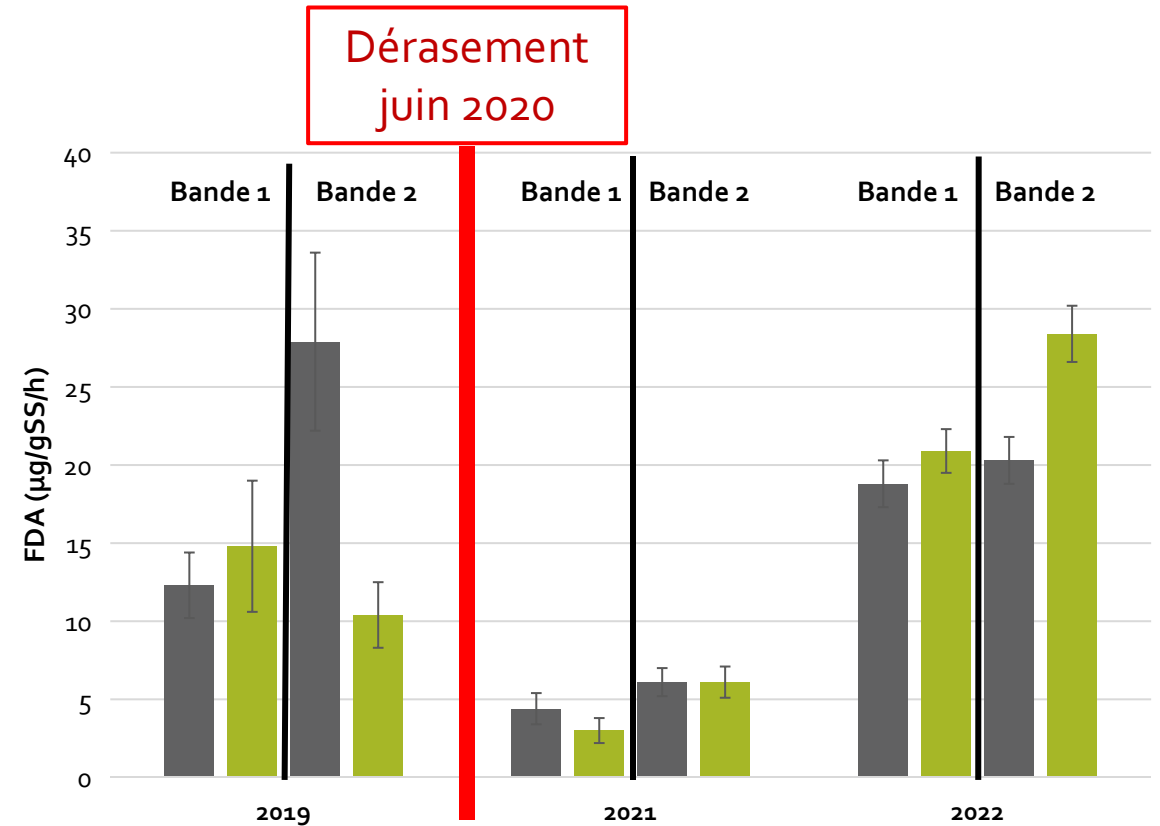
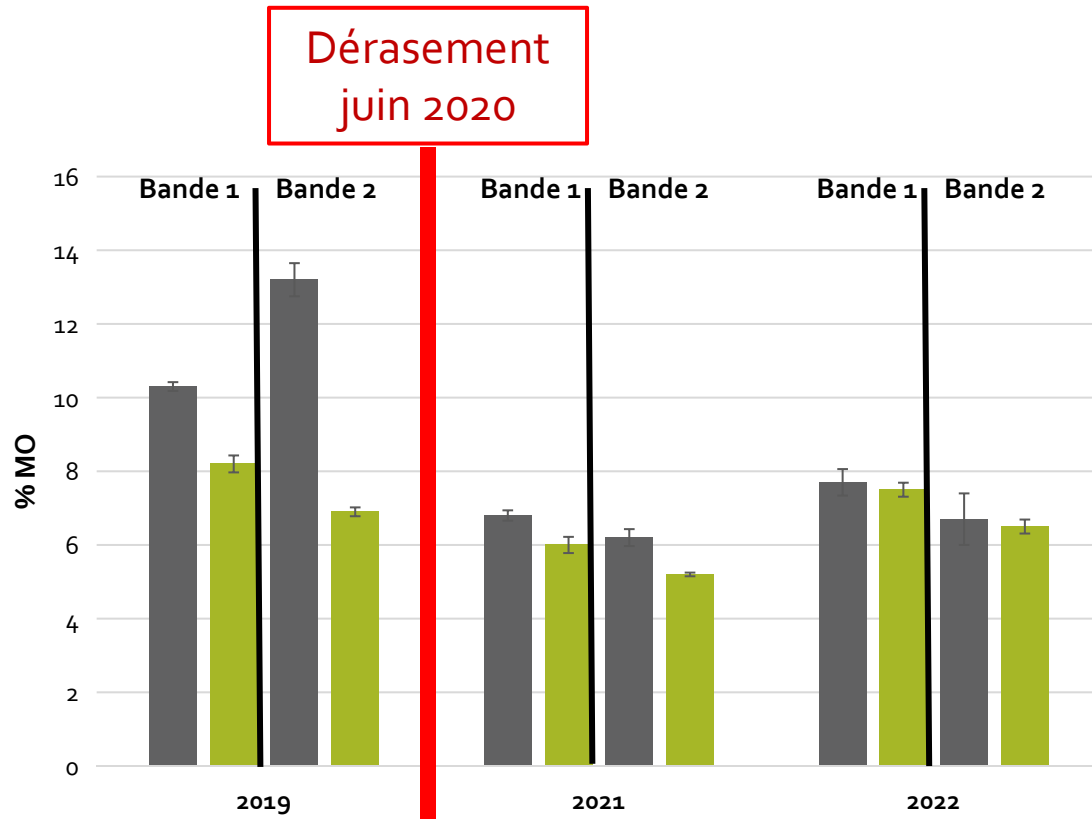
Des profils différents entre les sites :
- Dourdan = potentiel de dégradation diversifié,
site avec le meilleur potentiel pour les amines
- Compans : activité moins diversifiée

apport

référence



Caractérisation physico-chimique et microbiologique des sols – impact du dérasement



- ⇒ Fort impact du dérasement sur les propriétés du sol et sur l'activité microbienne
- ⇒ Une activité qui se rétablit au bout de 2 ans

apport

référence



Potentiel de biodégradation des alkylphénols

Cinétiques de biodégradation en batch liquide

Basal salt medium (BSM)

(Peng et al, 2015)

+

Microorganismes autochtones
extraits des sols (été 2021)

(Sarma et al, 2019)

+

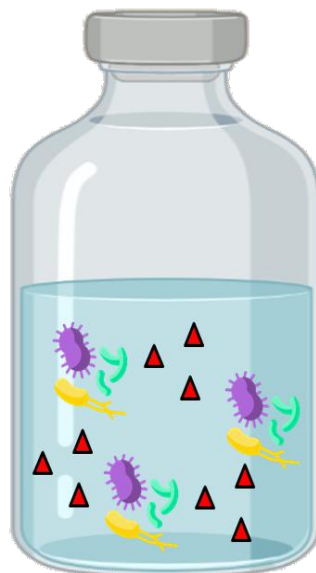
Cocktails de micropolluants :

Bisphenol A: 250µg/l, ▲ ▲

Nonylphenol: 175µg/l, ▲

Octylphenol: 75µg/l

(Flanagan et al, 2018 : ratios et stage Roux,
2019)



Incubation dans des mésocosmes :

à l'obscurité

agitation (120rpm)

à 25°C

durant 17 jours.

Témoins :

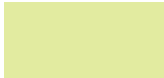
- Témoins biotiques sans micropolluants
- Témoins abiotiques sans microorganismes



Potentiel de biodégradation des alkylphénols

% de biodégradation en fin de cinétique (17 jours)

Site	Structure	Localisation	% BPA	% 4-NP	% OP
Dourdan	Plante	Apport	100 +/- 0	94 +/- 2	95 +/- 5
		Référence	100 +/- 0	100 +/- 0	100 +/- 0
Vitry	Arbres	Apport	100 +/- 0	37 +/- 8	42 +/- 18
		Référence	29 +/- 1	76 +/- 1	55 +/- 8
	Herbacés	Apport	100 +/- 0	53 +/- 3	42 +/- 7
		Référence	100 +/- 0	49 +/- 1	42 +/- 3
Compans	Bande 1	Apport	0 +/- 0	8 +/- 1	0 +/- 0
		Référence	0 +/- 0	0 +/- 0	0 +/- 0
	Bande 2 + substrat	Apport	0 +/- 0	0 +/- 0	0 +/- 0
		Référence	12 +/- 0	33 +/- 0	17 +/- 5
	Noüe	/	55 +/- 6	100 +/- 0	100 +/- 0

 Biodégradation (presque) complète

⇒ % Biodégradation et vitesse de biodégradation variables entre sites et au sein d'un même site

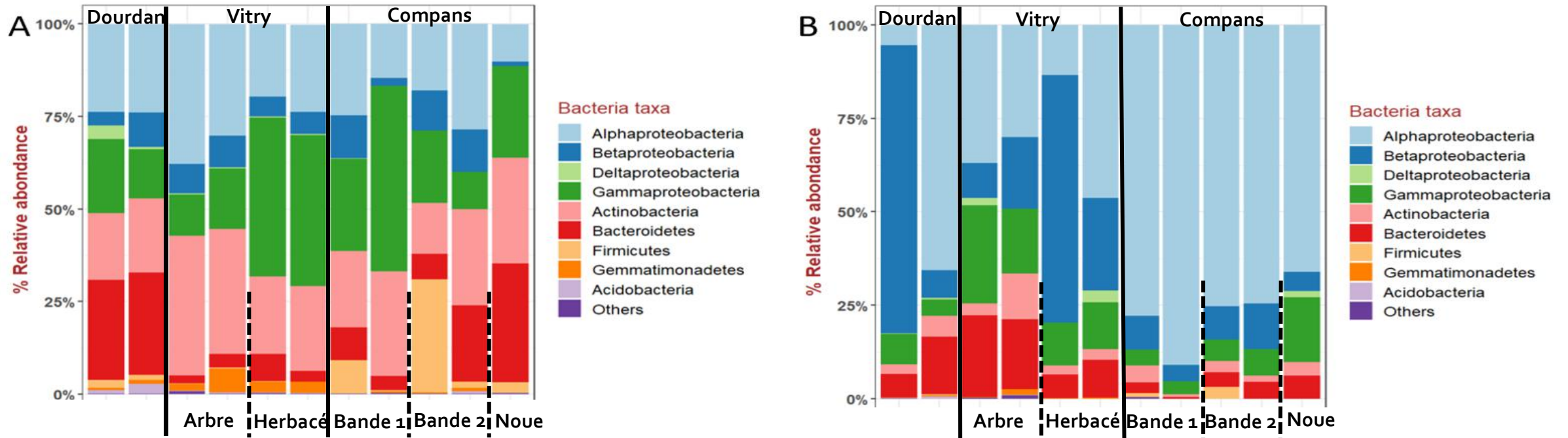
[Potentiel de biodégradation] ≠ [biomasse, activité microbienne]

Dourdan, Vitry et Compans-noue = sols les plus aptes à biodégrader



Potentiel de biodégradation des alkylphénols

Diversité bactérienne en fin de cinétique (séquençage ADN)



Témoins biotiques sans micropolluants :

- forte diversité bactérienne,
- profils comparables entre « zone d'apport » et « zone référence »

Tests biotiques avec micropolluants :

sélection des classes Alpha et Bétaprotéobactéries

- Alphaproteobacteria : *Methylobacteriaceae*, *Methylopila*, *Xanthobacteraceae*, *Ancylobacter*
- Betaproteobacteria : *Methylothena*, *Methylophilaceae*, *Hydrogenophaga*



Cinétiques de biodégradation en colonnes de sol

2 sols : Dourdan « apport » et Compans Noue – été 2023

Mésocosmes

(protocole adapté de Roux, 2024)

Sols dopés:

200g sol + 250ml Volvic dopée en BPA, 4-NP et OP

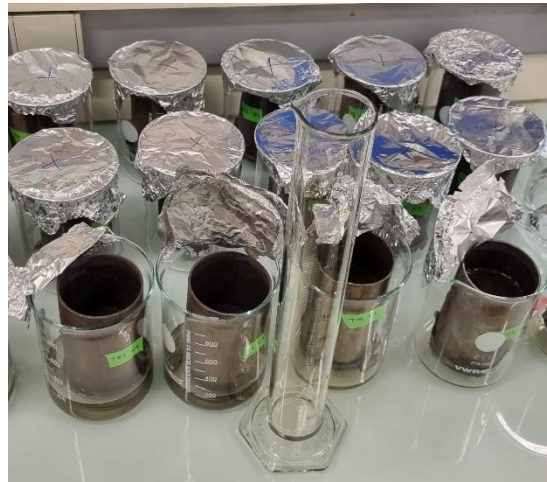
Sols non dopés

200g sol + 250ml Volvic

Témoins abiotiques dopés



Incubation:
3 semaines, 25°C,
obscurité,
hydratation régulière

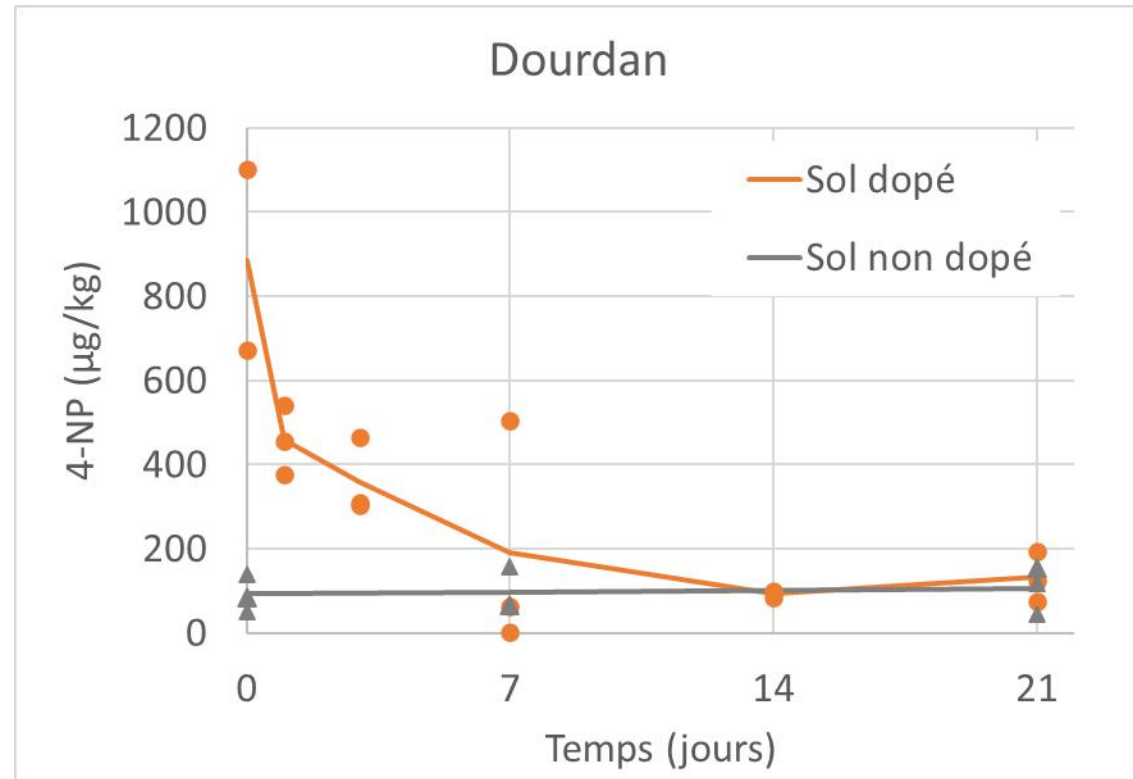
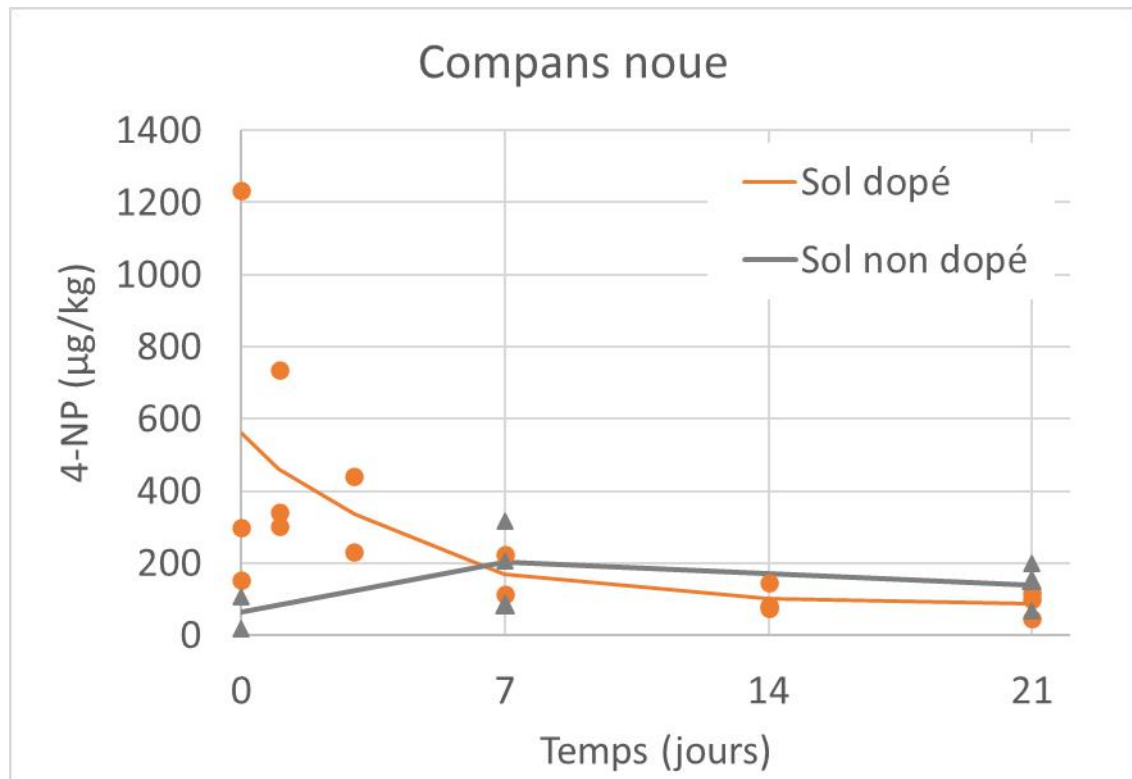


Concentration initiales en 4-NP des mésocosmes

MP en µg/kg	Dourdan	Compans
Sols non dopés	95 (45 – 155)	45 (20 – 105)
Sols dopés	885 (670 – 1100)	560 (150 – 1235)



Résultats de biodégradation en colonne du 4-NP



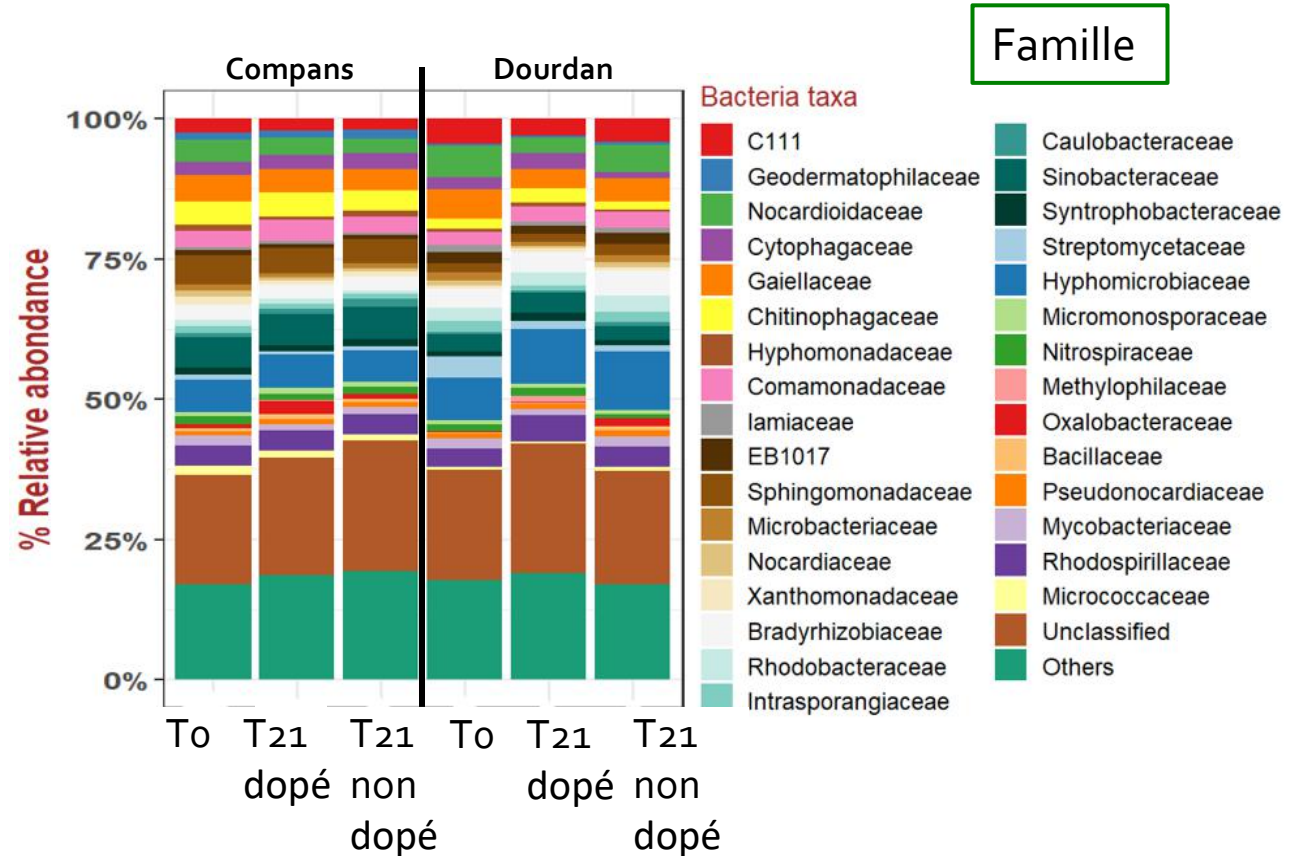
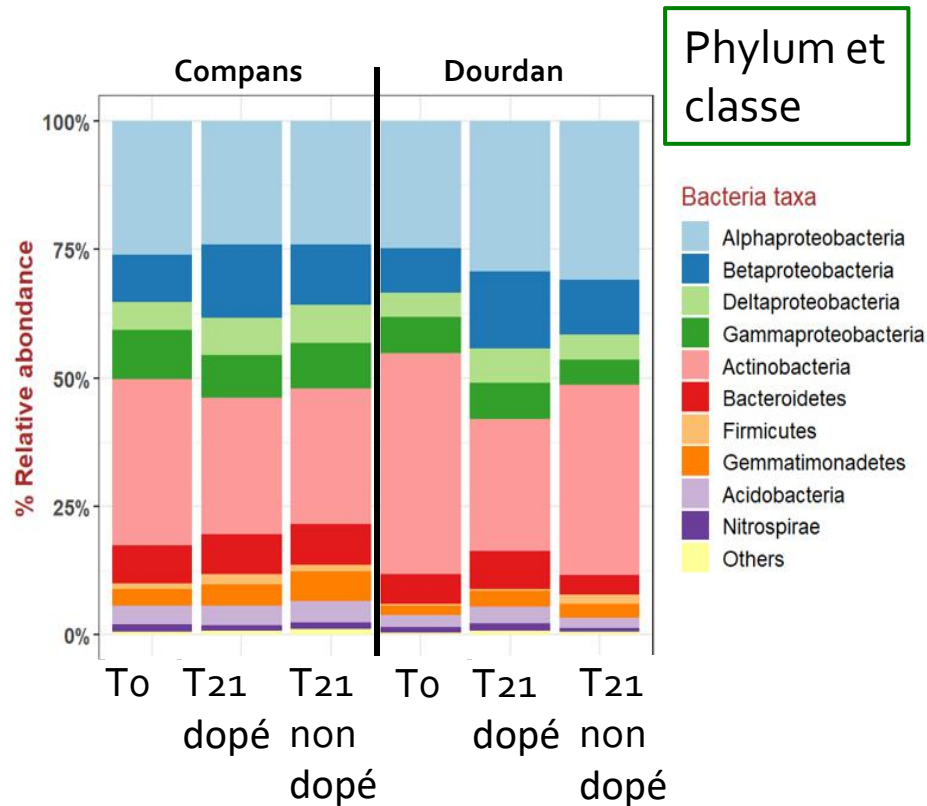
- ⇒ Biodégradation rapide (3 à 7 jours) du 4-NP apporté par dopage
- ⇒ Un niveau de fond de 4-NP (sol non dopé et pour sol dopé au-delà de 7 jours) qui ne décroît pas

- Très bon potentiel de biodégradation du NP dissous adsorbé sur le sol
- Contamination rémanente liée au NP inclus dans la matrice des particules (pneus etc) ?



Processus de biodégradation en colonne

Diversité bactérienne, début et fin cinétique (séquençage ADN)



- ⇒ Forte diversité dans tous les sols
- ⇒ Peu d'impact du dopage sur la diversité bactérienne

! Résultats différents des cinétiques liquides
Batch liquide = sélection microbienne qui ne se fait pas en réel



Conclusion générale

Activité microbienne des sols infiltrant des eaux de pluviales et biodégradation des micropolluants organiques piégés :

- Une **activité biologique importante**, accrue par rapport aux zones non alimentées (plus d'eau, plus de nutriments). **Se renforçant avec la maturation de l'ouvrage**
- **Des communautés microbiennes diversifiées**, mais **variables d'un site à l'autre**, influençant leur activité. **Facteurs à explorer** : l'âge des ouvrages, le type de végétation et la diversité des cultures.
- Des **capacités importantes de biodégradation** des micropolluants organiques ... **pouvant être limitées par la biodisponibilité** des polluants (phases particulaires)
- Des **communautés microbiennes spécifiques** jouent un rôle clé dans la biodégradation.
- **Limite des tests en laboratoire (batch liquide)** : ces tests amplifient les résultats, permet d'identifier les espèces les + performantes, mais non représentatif des conditions in-situ.



**Merci de votre
attention**

