



➤ Résidus de médicaments dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant

Marjolaine Bourdat-Deschamps

Ghislaine Delarue, Anaïs Goulas, Sabine Houot

Fabien Esculier

Dorette Müller-Stöver, Jakob Magid

➤ Pourquoi rechercher les médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols fertilisés ?

Filtration rénale = mode d'élimination de la plupart des médicaments et de leurs métabolites (60-70%)

→ Les urino-fertilisants peuvent donc contenir des résidus de médicaments (comme les boues d'épuration et les effluents d'élevage) et ils peuvent contribuer à leur dissémination dans l'environnement (sol, eau ...)



➤ Pourquoi rechercher les médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols fertilisés ?

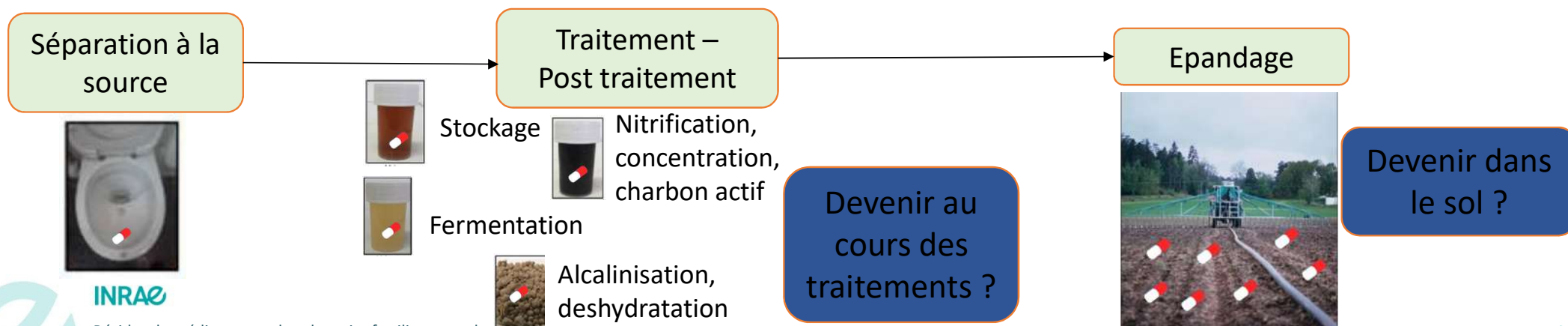
Filtration rénale = mode d'élimination de la plupart des médicaments et de leurs métabolites (60-70%)

→ Les urino-fertilisants peuvent donc contenir des résidus de médicaments

(comme les boues d'épuration et les effluents d'élevage)

et ils peuvent contribuer à leur dissémination dans l'environnement (sol, eau ...)

- ✓ Quelles molécules sont présentes ? À quelles concentrations ?
- ✓ Les traitements des urines permettent-ils d'abaisser les teneurs ?
- ✓ Quels sont les risques d'accumulation dans les sols après des apports répétés ?



INRAE

Résidus de médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Pourquoi rechercher les médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols fertilisés ?

Aspects sanitaire et environnemental

- Médicaments : ex anti-inflammatoires... → effets écotoxiques et sanitaire ?
- Antibiotiques : apparition et dissémination de gènes de résistance aux antibiotiques → aspect sanitaire
- Hormones : perturbateurs endocriniens → effets écotoxiques et sanitaire

Goulas et al. Principaux enjeux liés à la présence de micropolluants organiques dans les urino-fertilisants
https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2020/04/AGROCAPI_note_pharma_200420.pdf

Brun et al. Les éléments indésirables des urinofertilisants en agriculture
https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2025/05/250425_Notedesynt%C3%A8se_Ind%C3%A9sirables_VF.pdf



INRAE

Résidus de médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Les projets de recherche « urine » depuis 2018



AgroCapi : Étude de filières de valorisation agricole d'urinofertilisants – 2018-2021

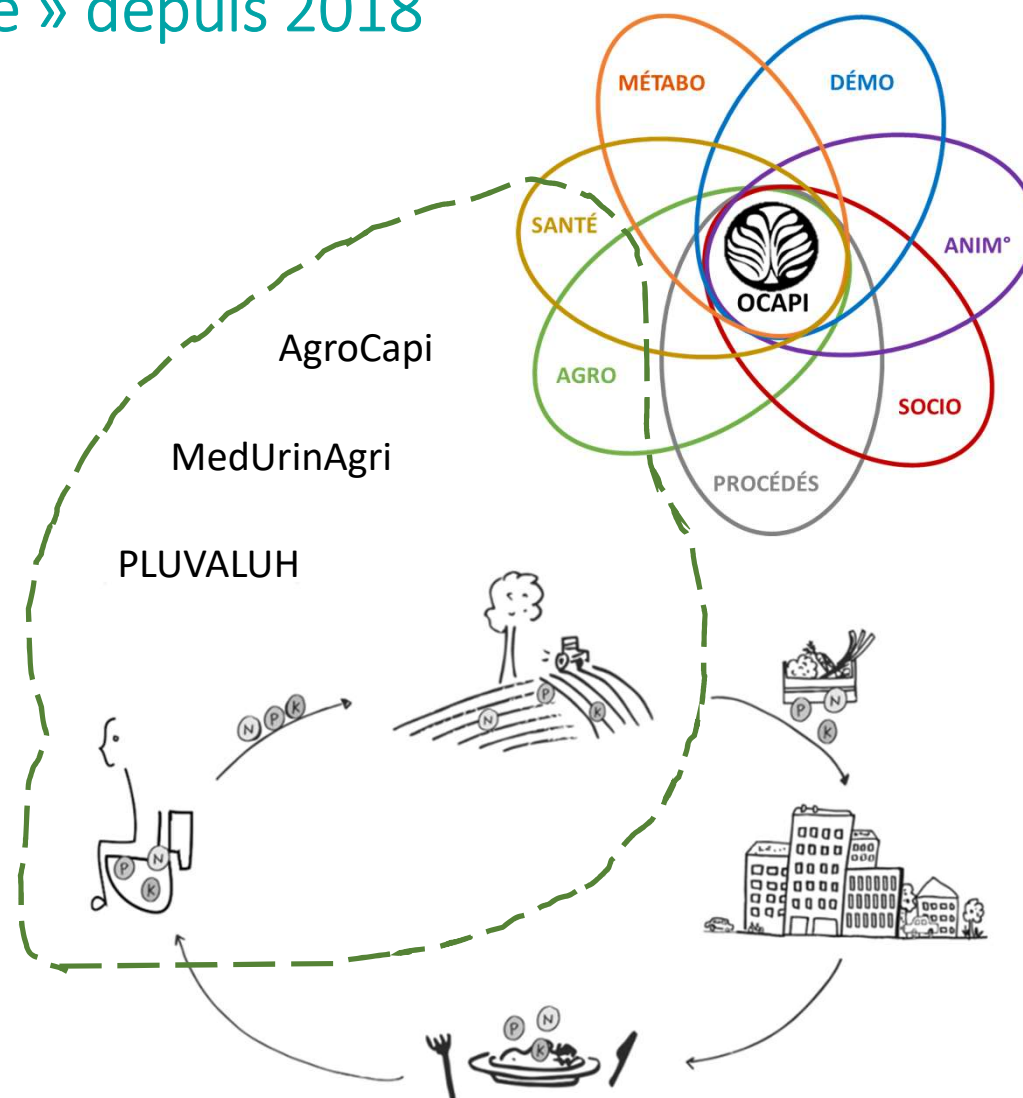
Financement ADEME, SIAAP, SEDE
Esculier et al. 2022 (rapport final)

MedUrinAgri : Evaluation ciblée et non-ciblée de résidus de médicaments dans des urines traitées ou stockées et dans les sols les recevant – 2023-2025

Financement C-BASC / U. Paris-Saclay

PLUVALUH : Promouvoir L'Usage et la Valorisation en Agriculture de l'Urine Humaine – 2024-2027

Financement CASDAR



INRAE

Résidus de médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Matériels et méthodes : composés recherchés

- ✓ **57 molécules** à usage humain (21), vétérinaire (15) ou les deux (21), réparties **en 11 groupes**
 - ✓ 27 **antibiotiques** de 5 familles
(fluoroquinolones, tétracyclines, sulfonamides, macrolides-lincosamides, β lactamines)
 - ✓ 9 **anti-inflammatoires** / antalgiques
 - ✓ 5 **neuroleptiques**
 - ✓ Antiparasitaires, diurétique, corticoïde, β bloquants, hypolipidémiants, hormones
 - ✓ Bactéricides et désinfectant
 - ✓ Marqueur anthropique : Caféine

- ✓ Principes actifs ou métabolites

- ✓ 30 à 36 molécules de plus que les études publiées sur urines
(Winker et al. 2008, Schürmann et al. 2012, Etter et al. 2015, Jaatinen et al. 2016, Mullen et al. 2017)



➤ Matériels et méthodes : composés recherchés

- ✓ **57 molécules** à usage humain (21), vétérinaire (15) ou les deux (21), réparties **en 11 groupes**
 - ✓ 27 **antibiotiques** de 5 familles
(fluoroquinolones, tétracyclines, sulfonamides, macrolides-lincosamides, β lactamines)
 - ✓ 9 **anti-inflammatoires** / antalgiques
 - ✓ 5 **neuroleptiques**
 - ✓ Antiparasitaires, diurétique, corticoïde, β bloquants, hypolipidémiants, hormones
 - ✓ Bactéricides et désinfectant
 - ✓ Marqueur anthropique : Caféine
- ✓ Principes actifs ou métabolites
- ✓ 30 à 36 molécules de plus que les études publiées sur urines
(Winker et al. 2008, Schürmann et al. 2012, Etter et al. 2015, Jaatinen et al. 2016, Mullen et al. 2017)

Molécules sélectionnées sur la base
des niveaux de consommation en France,
des taux d'excrétion dans les urines,
des recommandations de suivi par les agences
(listes de surveillance)



INRAE

Résidus de médicaments dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Matériels et méthodes : urinofertilisants

✓ Urines stockées (**Lisain**)



- ✓ France (2019) : Bureau, Festival
- ✓ France (2023, 2024) : Festival
- ✓ Danemark (2015, 2018, 2019) : Ecoquartier



✓ Urines traitées



- ✓ **Fermentée** (France 2019)



- ✓ **Nitrifiée, concentrée, passée sur charbon actif = Aurin** (2019, 2023, 2024)



- ✓ **Alcalinisée, deshydratée = Granurin** (France 2019)

➤ Matériels et méthodes : sols recevant les urinofertilisants

- ✓ **France** : essai Tristan Martin / AgroCapi
 - 1 application en 2019
 - Lisain, Aurin, Granurin, urine fermentée
 - Sols avant / après épandage

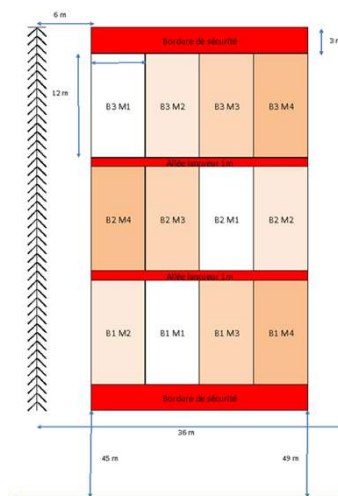


➤ Matériels et méthodes : sols recevant les urinofertilisants

- ✓ **France** : essai Tristan Martin / AgroCapi
 - 1 application en 2019
 - Lisain, Aurin, Granurin, urine fermentée
 - Sols avant / après épandage
- ✓ **France** : essai UrinAgri/MedUrinAgri
 - Lisain, Aurin
 - 3 applications en 2023
 - 1 application en 2024
 - Sols avant et après épandages (hz labour)
 - + après épandage 2023 : sol 0-10 cm



Ferme de la Martinière



Résidus de médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Matériels et méthodes : sols recevant les urinofertilisants

- ✓ **France** : essai Tristan Martin / AgroCapi
1 application en 2019
Lisain, Aurin, Granurin, urine fermentée
- Sols avant / après épandage

- ✓ **France** : essai UrinAgri/MedUrinAgri
Lisain, Aurin
3 applications en 2023
1 application en 2024
- Sols avant et après épandages (hz labour)
+ après épandage 2023 : sol 0-10 cm

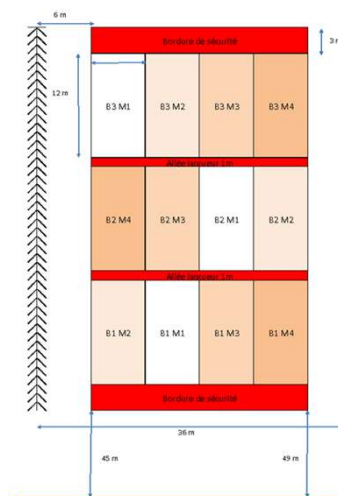


Résidus de médicaments dans les urinofertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

- ✓ **Danemark** : essai **CRUCIAL**
Applications annuelles depuis 2003
Lisain et autres PROs (boues, fumiers...)
- Sols après épandage (2018 – **16 ép.**)
- Sols avant et après ép. (2020 – **18 ép.**)



Ferme de la Martinière

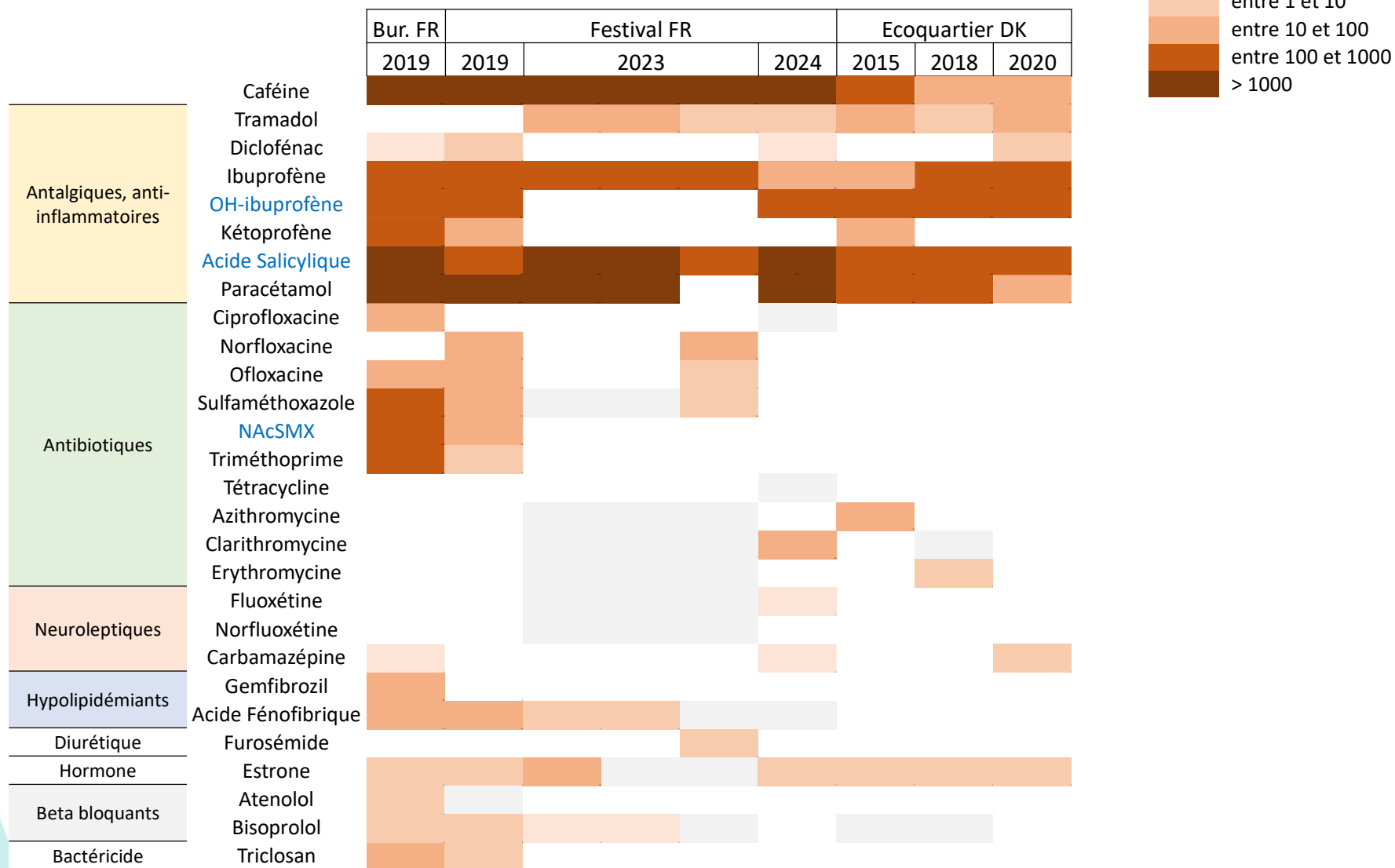


➤ Quelques points à garder en mémoire

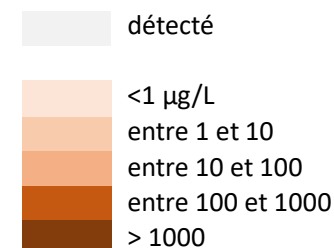
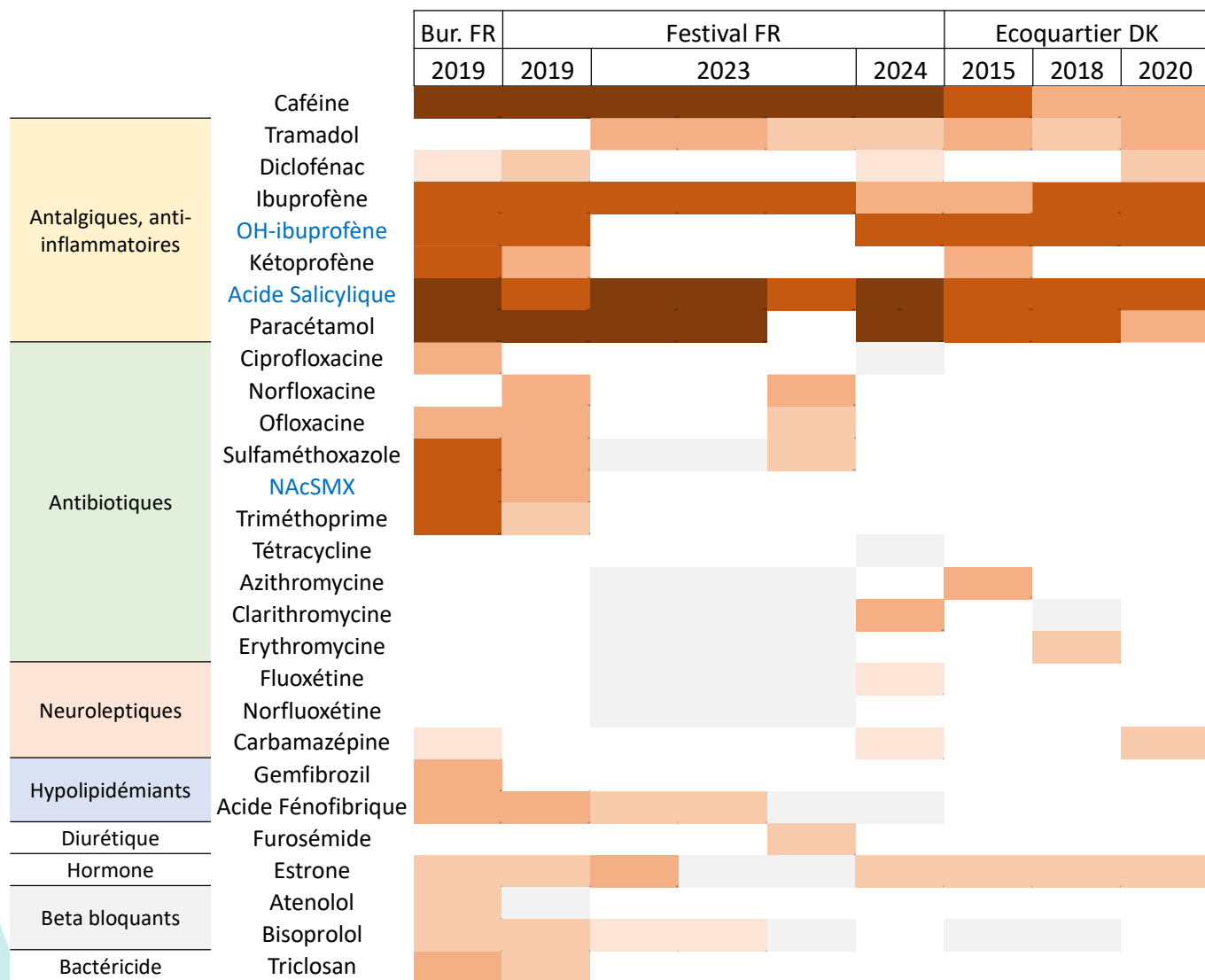
- ✓ Analyse ciblée = on ne peut trouver que ce que l'on cherche
- ✓ Absence de données pour certains composés notamment pour matrices solides
← méthodes pas assez performantes pour les détecter
(ex hormones, anti-parasitaires)
- ✓ Après application au sol, les composés peuvent se dissiper =
être dégradés (micro-organismes, UV),
transférés vers les eaux,
avoir des interactions fortes avec la matrice (résidus non extractibles)
→ on ne mesure que ce que l'on arrive à extraire des échantillons



➤ Concentrations dans les Lisains

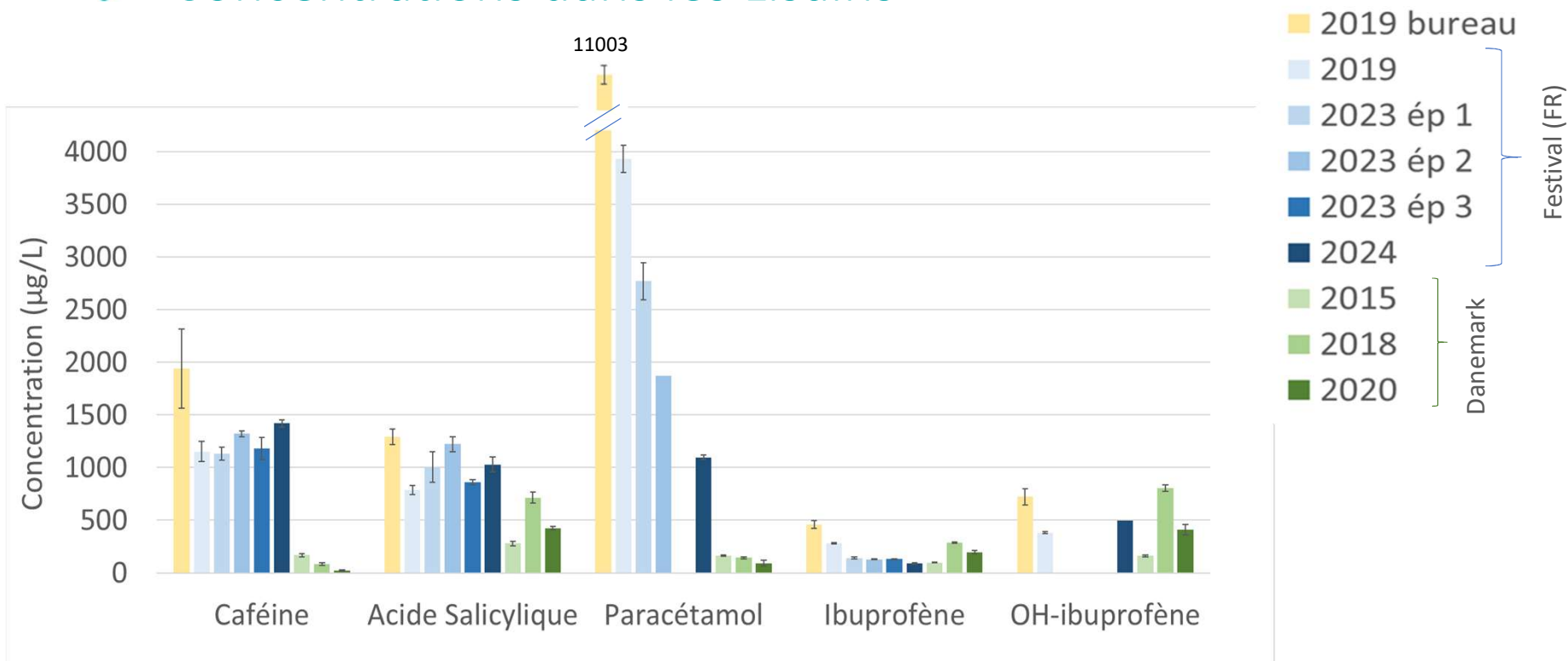


➤ Concentrations dans les Lisains



- ✓ 8 à 20 composés quantifiés entre 0,3 µg/L et 11 mg/L
- ✓ Principalement caféine, 7 anti-inflammatoires, et 10 antibiotiques
- ✓ Plus de composés retrouvés dans le Lisain FR que DK
← consommation limitée de médicaments au DK, population plus limitée (/ festival)

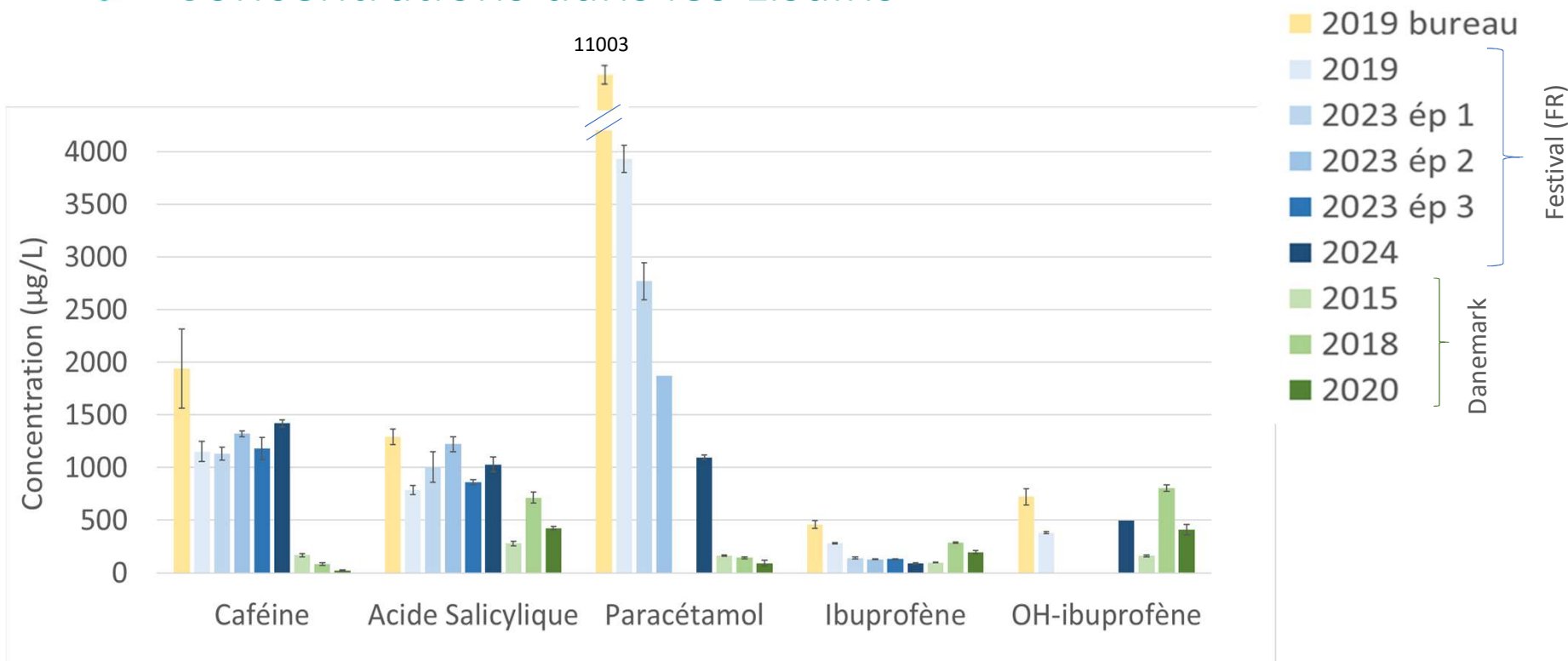
➤ Concentrations dans les Lisains



INRAE

Résidus de médicaments dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Concentrations dans les Lisains



- ✓ Concentrations variables selon :
 - origine (FR vs. DK ; bureau vs. festival)
 - année

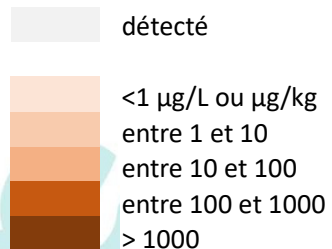
- ✓ Concentrations du même ordre de grandeur que littérature

(Winker et al. 2008, Schümann et al. 2012, Mullen et al. 2017)



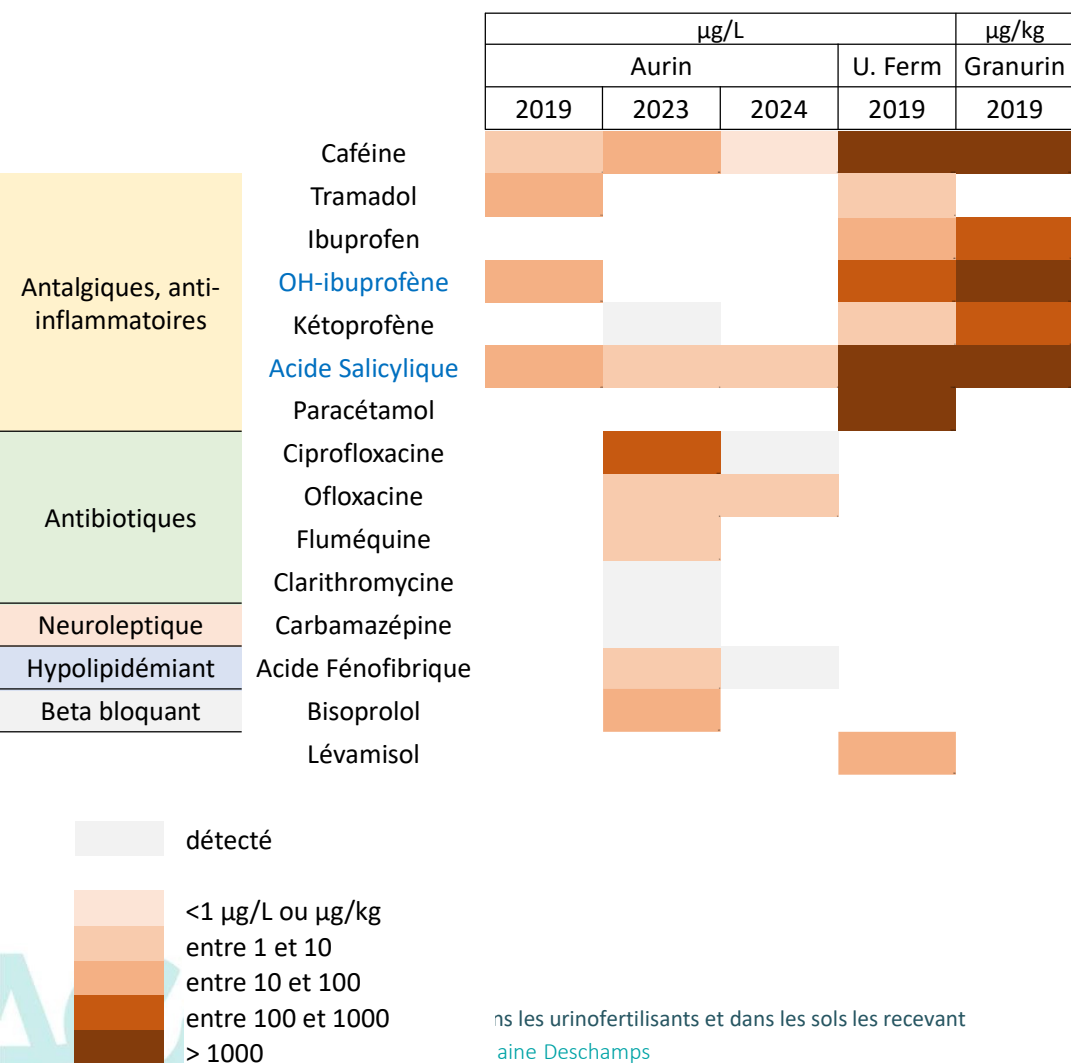
➤ Concentrations dans les urines traitées

		µg/L			µg/kg	
		Aurin			U. Ferm	Granurin
		2019	2023	2024	2019	2019
Antalgiques, anti-inflammatoires	Caféine					
	Tramadol					
	Ibuprofen					
	OH-ibuprofène					
	Kétoprofène					
	Acide Salicylique					
Antibiotiques	Paracétamol					
	Ciprofloxacine					
	Ofloxacine					
	Fluméquine					
	Clarithromycine					
Neuroleptique	Carbamazépine					
Hypolipidémiant	Acide Fénofibrique					
Beta bloquant	Bisoprolol					
	Lévamisol					



ns les urinofertilisants et dans les sols les recevant
aine Deschamps

➤ Concentrations dans les urines traitées

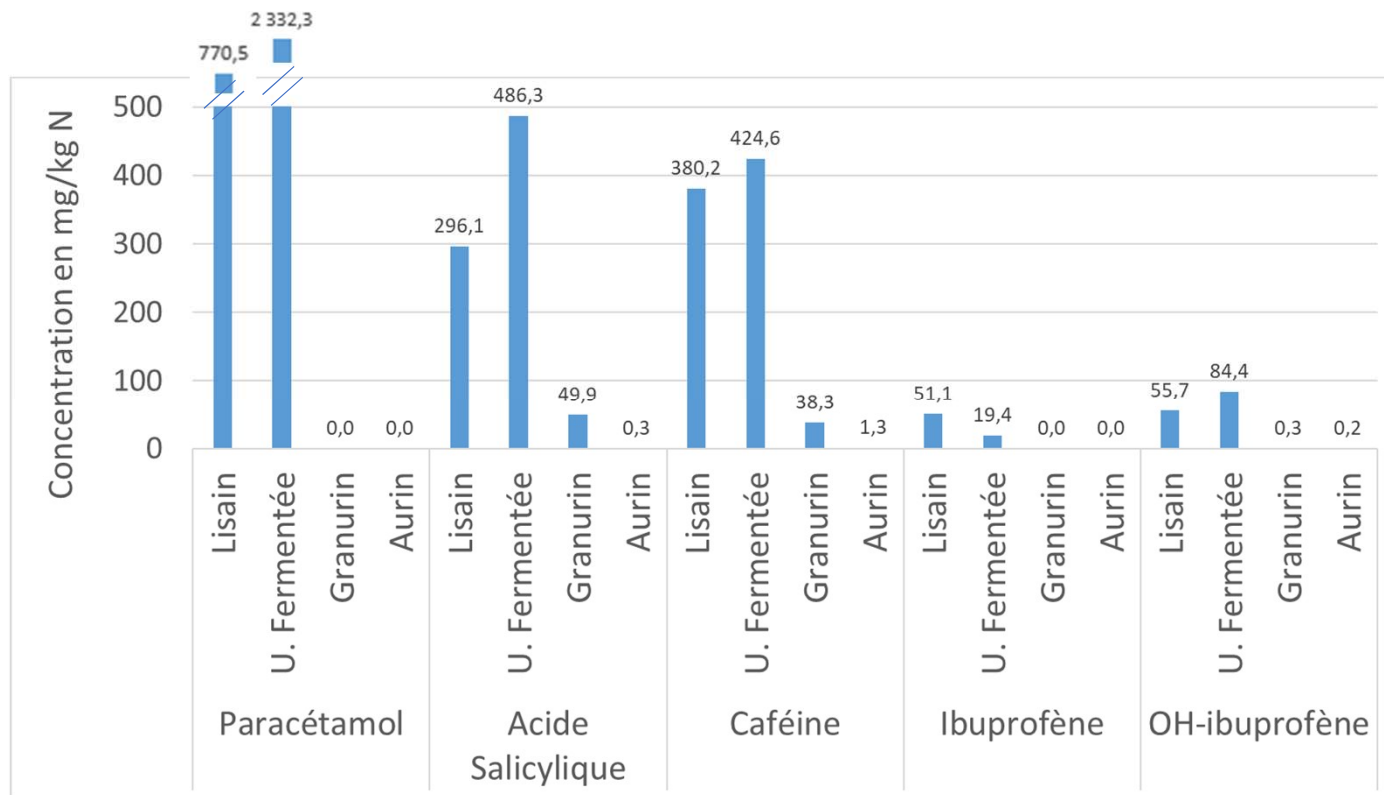


- ✓ 3 à 8 composés quantifiés entre 0,3 µg/L et 5,5 mg/L entre 140 µg/kg et 4,5 mg/kg
 - ✓ Principalement **caféine**, 6 anti-inflammatoires, 4 antibiotiques
 - ✓ Composés retrouvés moins nombreux que dans Lisain
 - ✓ Concentrations urine fermentée du même ordre de grandeur que Lisain
 - ✓ Concentrations les plus faibles lorsqu'il y a un **traitement spécifique pour abattre les micropolluants organiques** (Aurin) – sauf année 2023
- cf. *Etter et al. 2015* (projet VUNA) : réduction entre 90 et 99% la concentration d'une dizaine de médicaments

➤ Comparaison des urinofertilisants entre eux

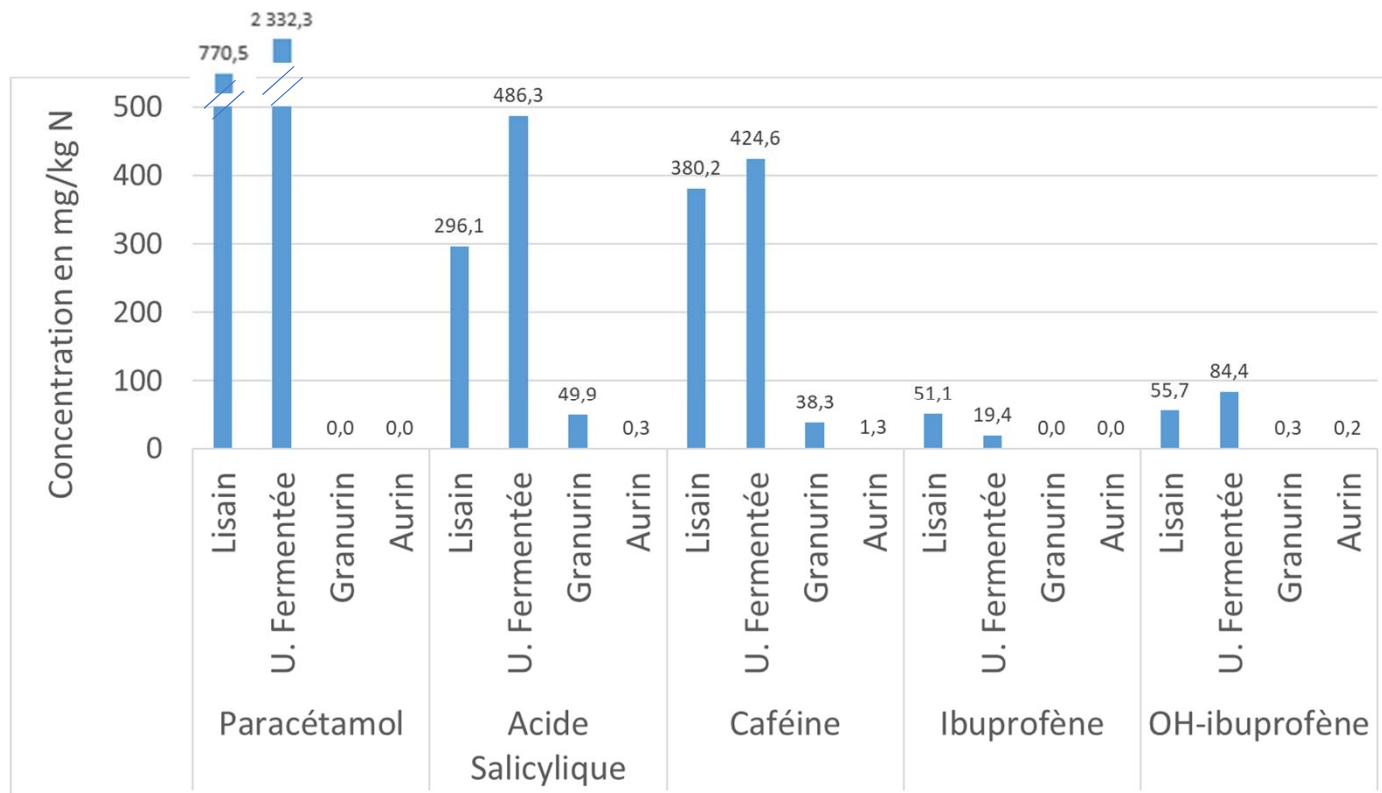
- ✓ Epannage des urinofertilisants sur la base de leur teneur en N
Lisain et u. fermentée
~ 3 à 6 g N/L
Aurin ~ 44 g N/L
- Comparaison des produits entre eux en comparant les concentrations normalisées par rapport à la teneur en N

➤ Comparaison des urinofertilisants entre eux



- ✓ Epannage des urinofertilisants sur la base de leur teneur en N
 - Lisain et u. fermentée ~ 3 à 6 g N/L
 - Aurin ~ 44 g N/L
- ➔ Comparaison des produits entre eux en comparant les concentrations normalisées par rapport à la teneur en N

➤ Comparaison des urinofertilisants entre eux



- ✓ Epannage des urinofertilisants sur la base de leur teneur en N
 - Lisain et u. fermentée ~ 3 à 6 g N/L
 - Aurin ~ 44 g N/L
- ➔ Comparaison des produits entre eux en comparant les concentrations normalisées par rapport à la teneur en N

- ✓ Fermentation (2019) semble ne pas être efficace
- ✓ Aurin semble être le traitement le plus efficace
- ✓ Granurin : pas de traitement spécifique micropolluants mais très concentré en N

➤ Comparaison du Lisain avec les boues d'épuration



Lisain
(6 échantillons FR)

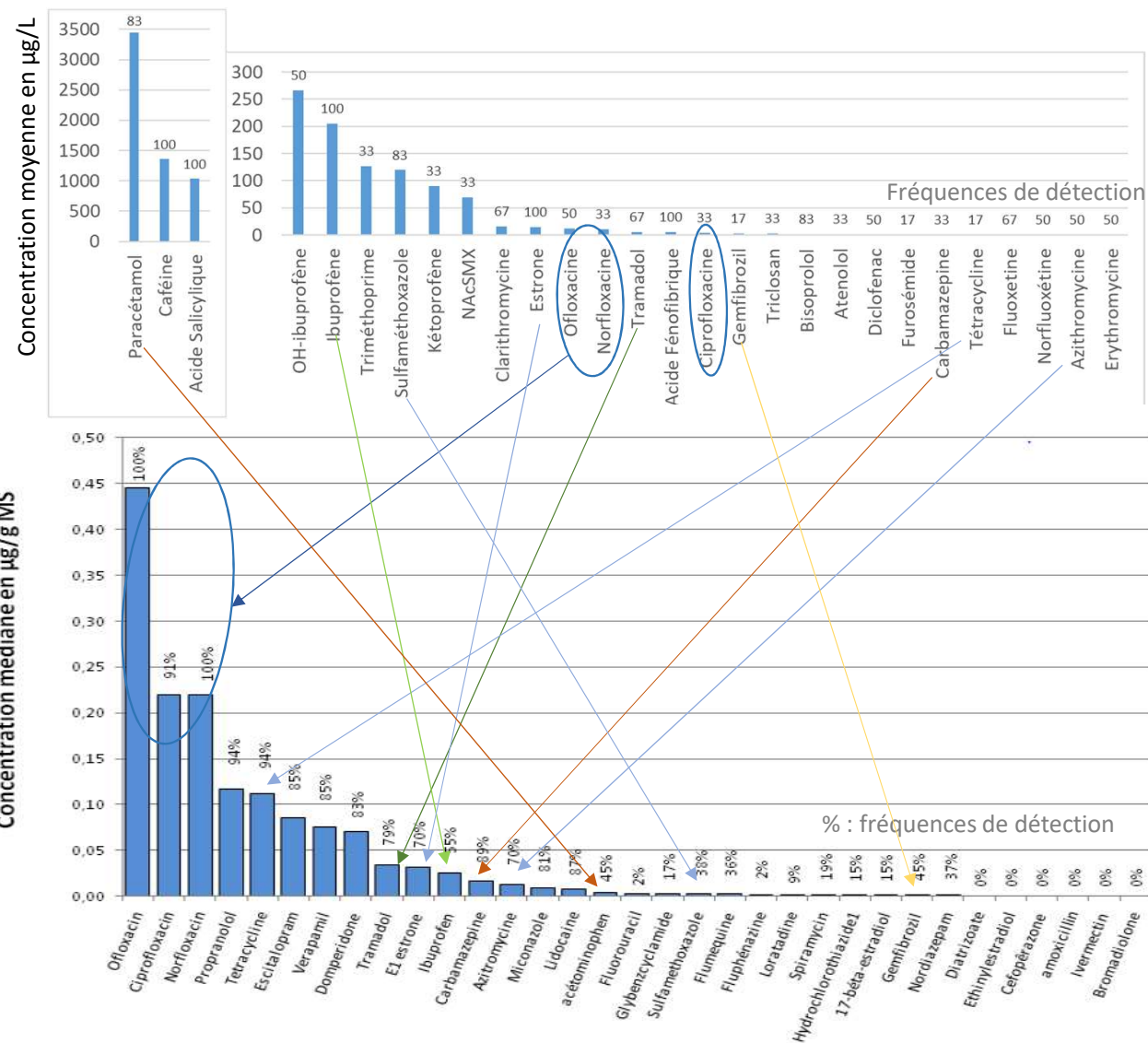
56 médicaments +
caféine + bactéricides



Boue,
Boue compostée,
Boue chaulée
Boue digérée
(27 STEU)

33 médicaments

ADEME/SYPREA 2014



➤ Comparaison du Lisain avec les boues d'épuration



Lisain
(6 échantillons FR)

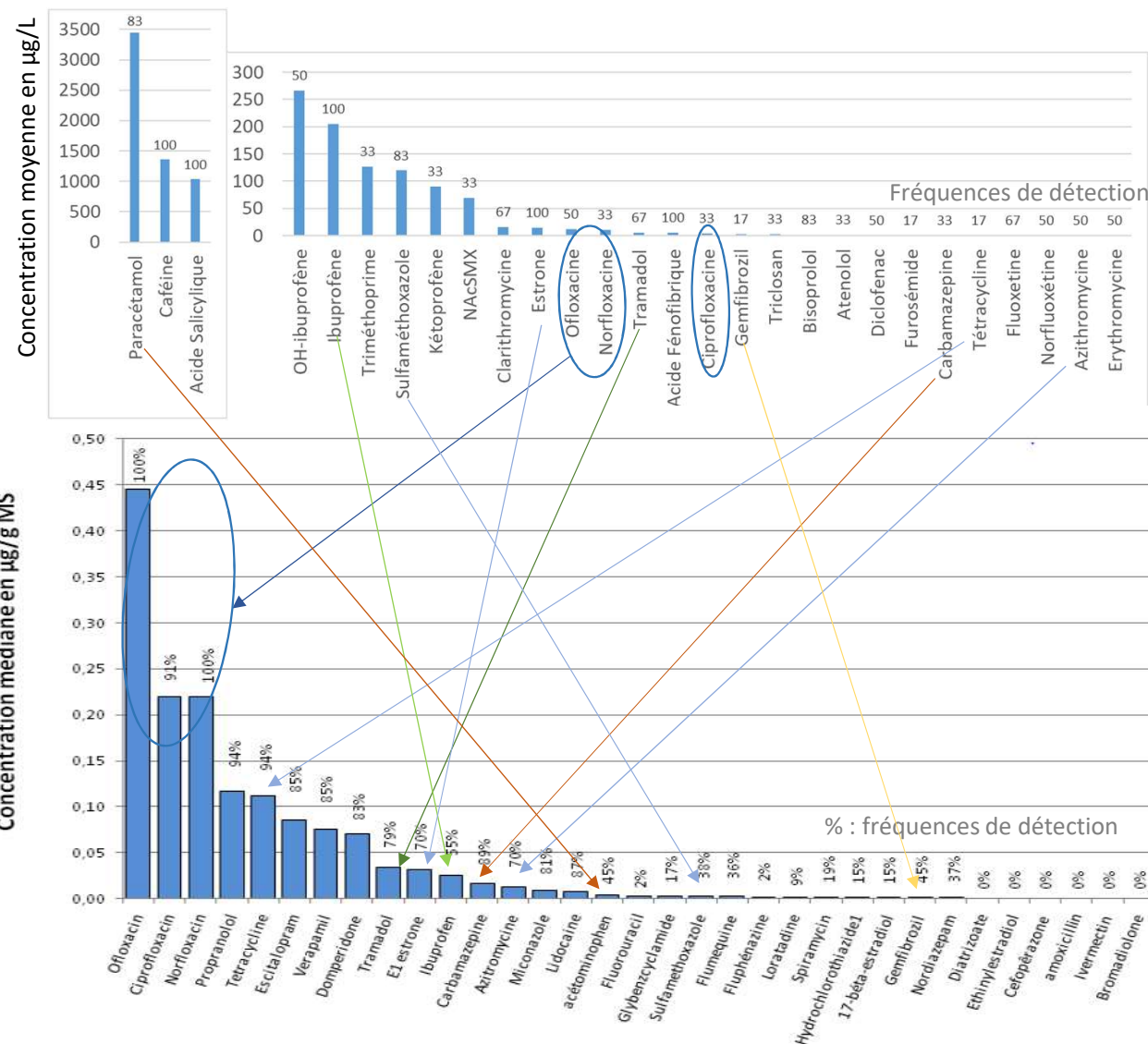
56 médicaments +
caféine + bactéricides



Boue,
Boue compostée,
Boue chaulée
Boue digérée
(27 STEU)

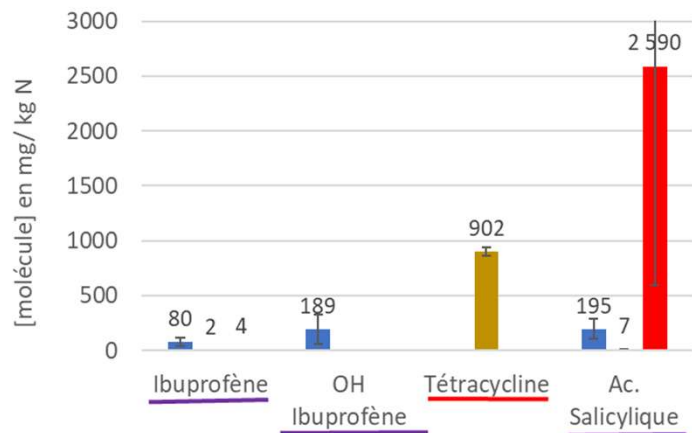
33 médicaments

ADEME/SYPREA 2014

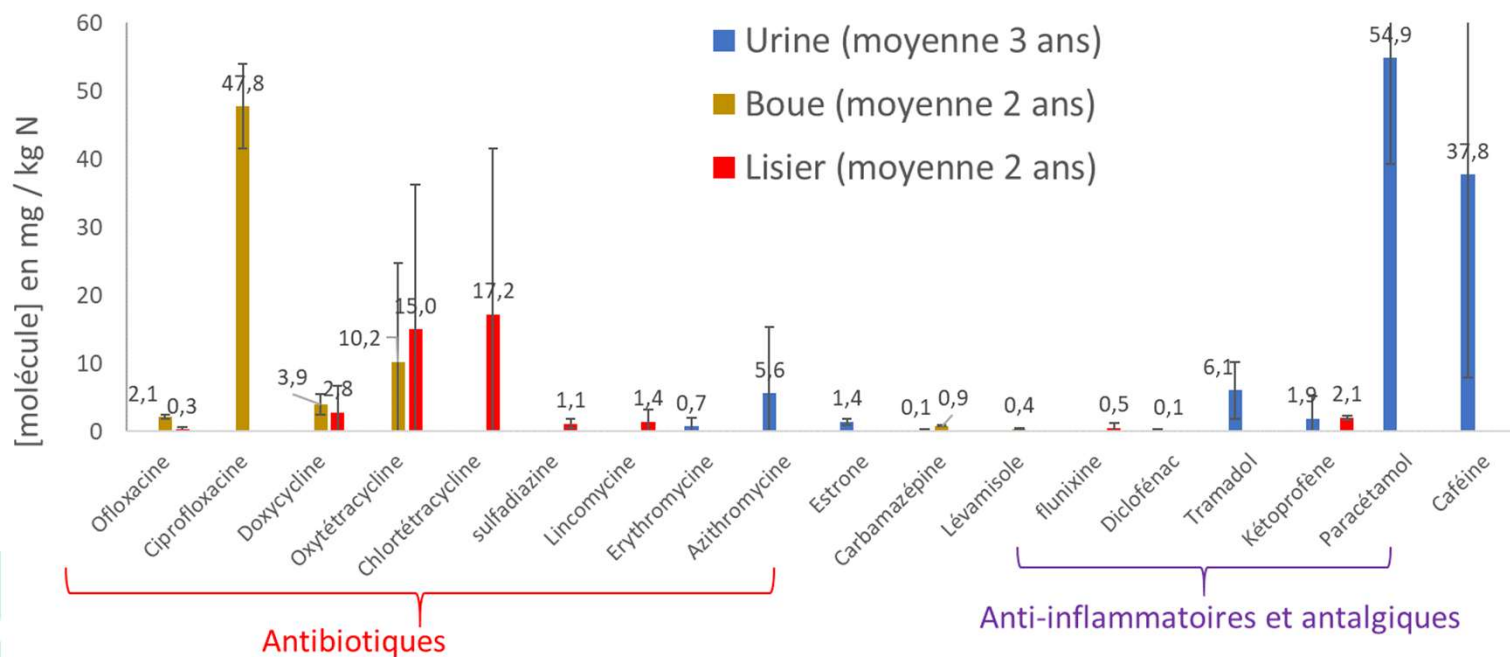


- ✓ Les composés les plus concentrés dans le Lisain ne sont pas les mêmes que ceux dans les boues
 - ← Dégradation dans STEU
 - ← Affinité des composés pour la phase solide/liquide
- ✓ Les fréquences de détections ne sont pas non plus comparables

➤ Comparaison du Lisain avec les boues d'épuration et le lisier (DK)



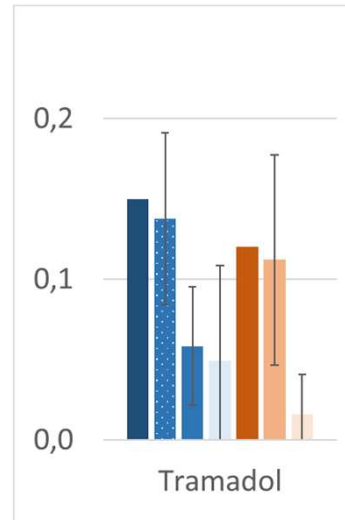
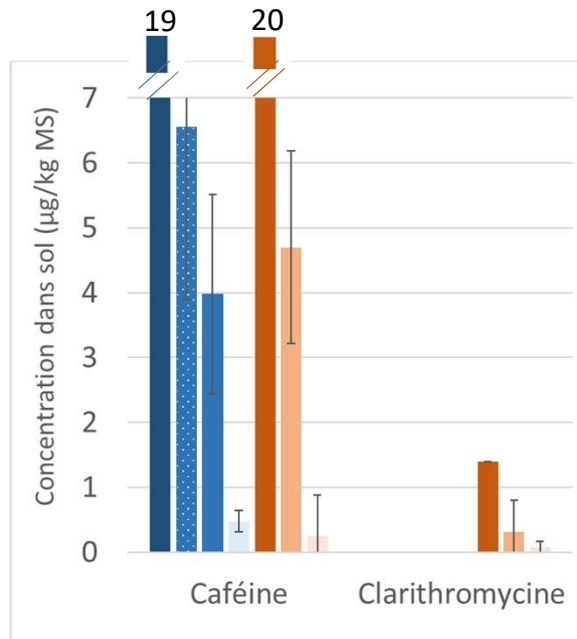
- ✓ Différents profils urine / boue / lisier, en lien avec médicaments absorbés
- ✓ Antibiotiques : ++ boue et lisier
- Anti-inflammatoires : ++ lisain et + lisier
- Caféine : ++ lisain
- Anti-parasitaires (pas dans cette étude) : ++ lisier



➤ Concentrations dans les sols fertilisés Lisain (essai FR)

- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain,
 - 5 sont quantifiés dans le sol (concentrations faibles, $< 8 \mu\text{g/kg MS}$)
 - 2 sont parfois détectés
 - 7 ne sont jamais détectés (trop faiblement apportés par rapport aux limites de détection dans le sol)

➤ Concentrations dans les sols fertilisés Lisain (essai FR)



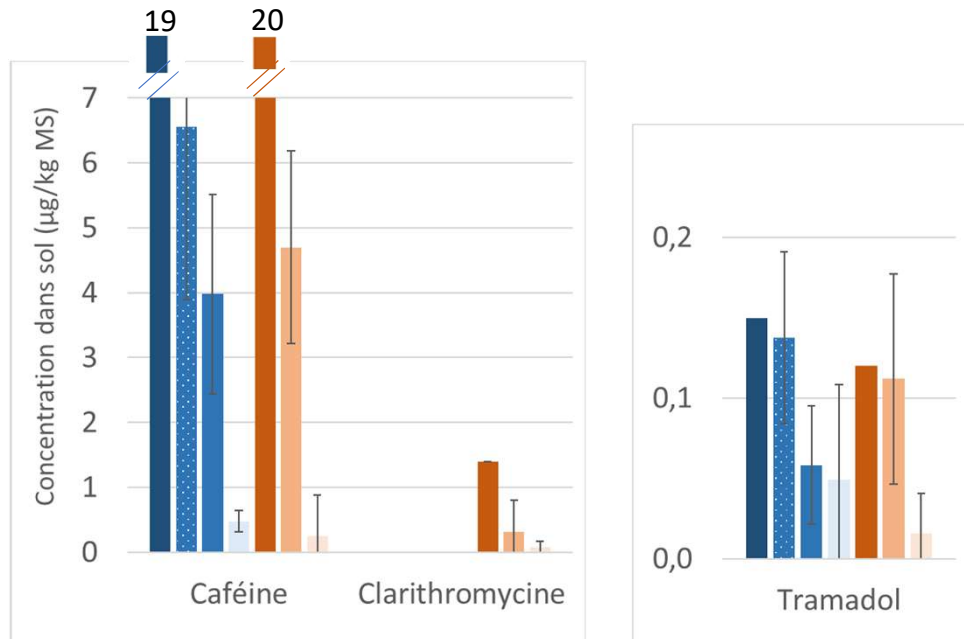
- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain,
 - 5 sont quantifiés dans le sol (concentrations faibles, < 8 µg/kg MS)
 - 2 sont parfois détectés
 - 7 ne sont jamais détectés (trop faiblement apportés par rapport aux limites de détection dans le sol)

- PEC 2023 (3 ép)
- 15 j après 3e ep - 10 cm
- 15 j après 3e ep
- 11 mois après 3e ep
- PEC 2024
- 15 j après ep
- 5,5 mois après ep

dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant

10 septembre 2023 / Marjolaine Deschamps

➤ Concentrations dans les sols fertilisés Lisain (essai FR)



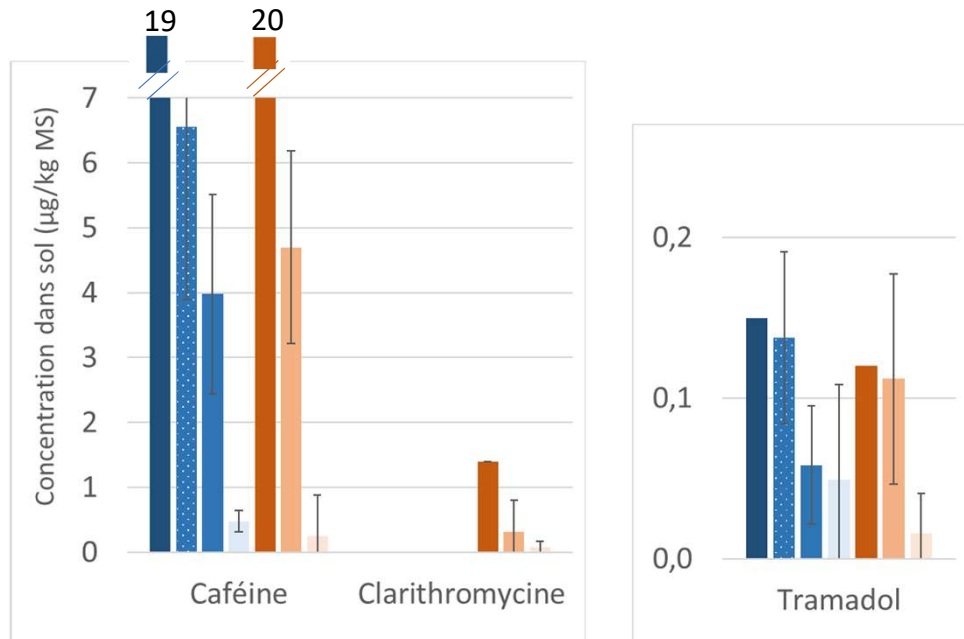
- PEC 2023 (3 ép)
- 15 j après 3e ep - 10 cm
- 15 j après 3e ep
- 11 mois après 3e ep
- PEC 2024
- 15 j après ep
- 5,5 mois après ep

dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant

10 septembre 2023 / Marjolaine Deschamps

- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain,
 - 5 sont quantifiés dans le sol (concentrations faibles, < 8 µg/kg MS)
 - 2 sont parfois détectés
 - 7 ne sont jamais détectés (trop faiblement apportés par rapport aux limites de détection dans le sol)
- ✓ Calcul des concentrations prédites (PEC) suite aux apports (sur prof. 28 cm)
 - PEC > conc. mesurées
 - ← dissipation des composés dans le sol
- ✓ Concentrations légèrement supérieures dans 0-10 cm par rapport à 0-28 cm

➤ Concentrations dans les sols fertilisés Lisain (essai FR)



- PEC 2023 (3 ép)
- 15 j après 3e ep - 10 cm
- 15 j après 3e ep
- 11 mois après 3e ep
- PEC 2024
- 15 j après ep
- 5,5 mois après ep

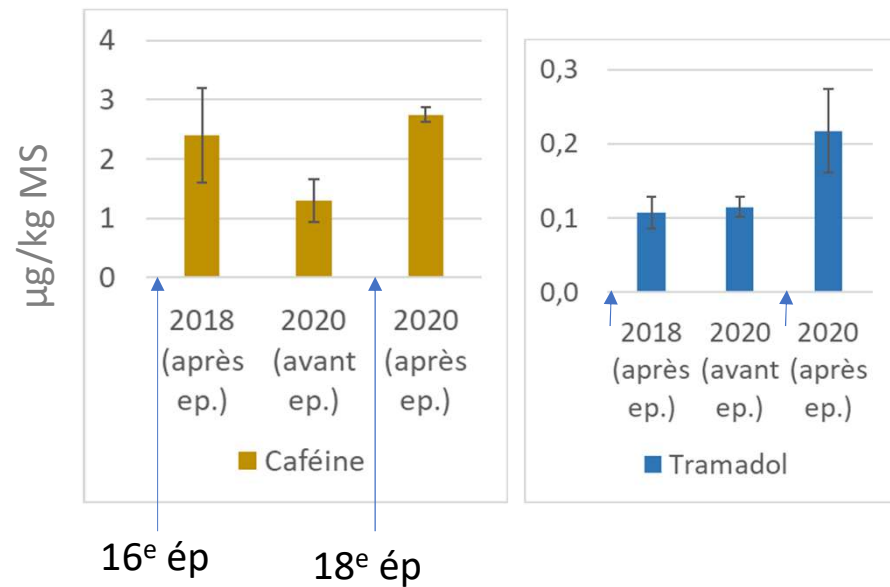
✓ **Augmentation** des concentrations **après apport** puis **diminution au fil du temps**

- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain,
 - 5 sont quantifiés dans le sol (concentrations faibles, < 8 µg/kg MS)
 - 2 sont parfois détectés
 - 7 ne sont jamais détectés (trop faiblement apportés par rapport aux limites de détection dans le sol)
- ✓ Calcul des concentrations prédites (PEC) suite aux apports (sur prof. 28 cm)
 PEC > conc. mesurées
 ← dissipation des composés dans le sol
- ✓ Concentrations légèrement supérieures dans 0-10 cm par rapport à 0-28 cm

dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant

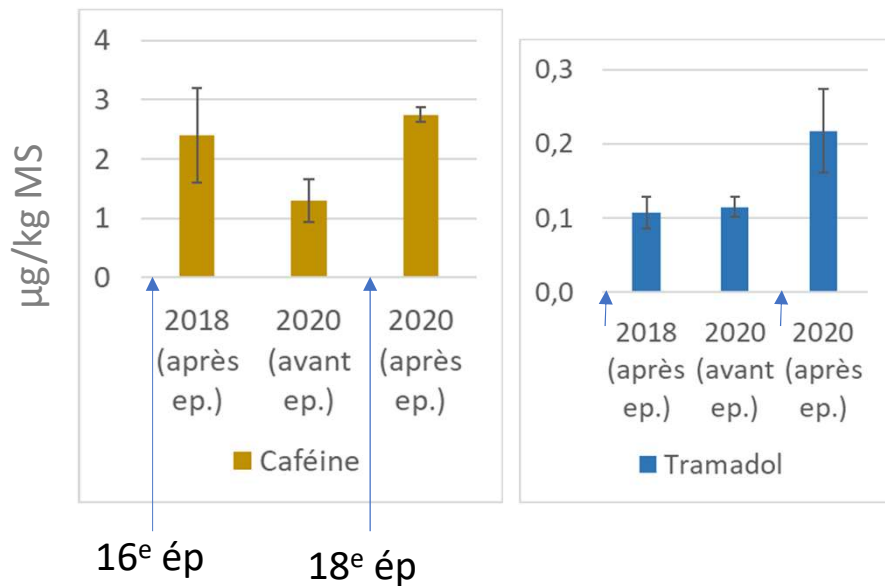
10 septembre 2023 / Marjolaine Deschamps

➤ Concentrations dans les sols fertilisés (essai longue durée DK)



- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain, 2 sont quantifiés, à des concentrations proches de l'essai FR

➤ Concentrations dans les sols fertilisés (essai longue durée DK)



	cc. Prédites	cc mesurées 2020 av. ep
Acide Salicylique	200,1	nd
Acétaminophène	56,5	nd
Caféine	38,8	1,30
OH-ibuprofène	194,6	nd
Ibuprofène	82,2	nd
Azithromycine	5,8	nd
Tramadol	6,3	0,11
Kétoprofène	2,0	nd
Etythromycine	0,7	nd
Estrone	1,5	nd
Diclofénac	0,1	nd
Carbamazépine	0,1	nd

Concentration prédite la plus élevée possible
(pas de prise en compte de dissipation)

$$= [PPCP]_{sol,0} + \frac{[PPCP]_{PRO} * Tx_{appli_{PRO}} * n_{épandages}}{Profondeur_{sol} * RHO_{sol}}$$

- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain, 2 sont quantifiés, à des concentrations proches de l'essai FR

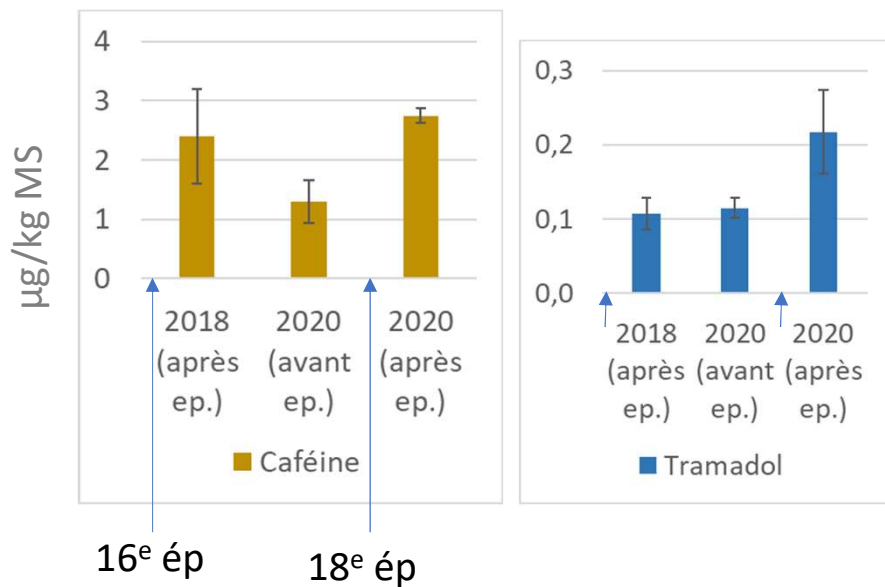
- ✓ Conc. Prédites >> conc. Mesurées
→ prendre en compte **dissipation** pour concentrations prédites réalistes



INRAE

Résidus de médicaments dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Concentrations dans les sols fertilisés (essai longue durée DK)



	cc. Prédites	cc mesurées 2020 av. ep
Acide Salicylique	200,1	nd
Acétaminophène	56,5	nd
Caféine	38,8	>> 1,30
OH-ibuprofène	194,6	nd
Ibuprofène	82,2	nd
Azithromycine	5,8	nd
Tramadol	6,3	>> 0,11
Kétoprofène	2,0	nd
Etythromycine	0,7	nd
Estrone	1,5	nd
Diclofénac	0,1	nd
Carbamazépine	0,1	nd

DT₅₀ ≈ 250 j

DT₅₀ ≈ 170 j

Concentration prédite la plus élevée possible
(pas de prise en compte de dissipation)

$$= [PPCP]_{sol,0} + \frac{[PPCP]_{PRO} * Tx_{appli_{PRO}} * n_{épandages}}{Profondeur_{sol} * RHO_{sol}}$$

- ✓ Parmi les composés apportés par le Lisain, 2 sont quantifiés, à des concentrations proches de l'essai FR

- ✓ Conc. Prédites >> conc. Mesurées
→ prendre en compte **dissipation** pour concentrations prédites réalistes

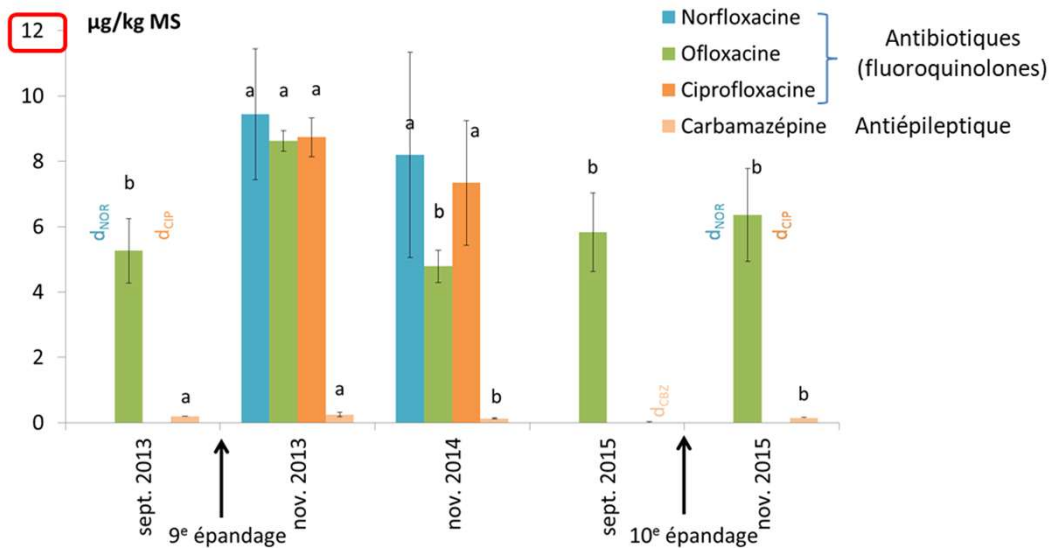


INRAE

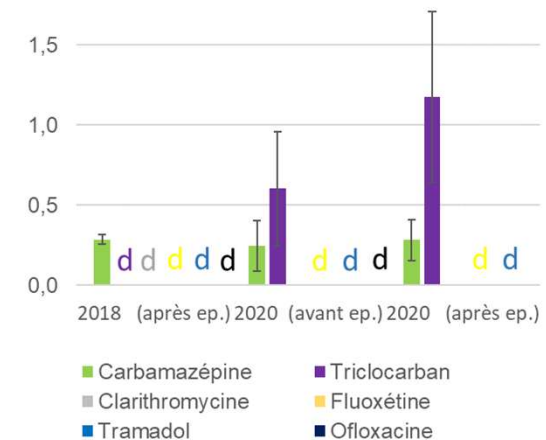
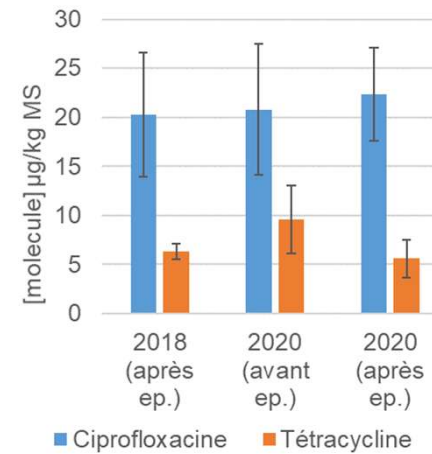
Résidus de médicaments dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Comparaison avec des sols amendés par des PROs

SOERE-PRO – essai longue durée (FR)
Sol + compost boue et déchets verts



Essai CRUCIAL (DK)
Sol + boues d'épuration – fort apport



(Bourdat-Deschamps et al. 2017)

INRAE

Résidus de médicaments dans les urino-fertilisants et dans les sols les recevant
18 septembre 2025 - Marjolaine Deschamps

➤ Conclusions : urinofertilisants



- ✓ Les urinofertilisants contiennent **une diversité de médicaments** (jusqu'à 20 composés), principalement des anti-inflammatoires et des antibiotiques (+ la caféine) dans une **large gamme de concentrations** (< 1 µg/L à 11 mg/L)
← dépend des quantités prises et de leur métabolisation dans l'organisme
- ✓ Le stockage de l'urine (Lisain) ne permet pas d'éliminer les médicaments
Les **traitements ciblés** (ex. charbon actif) semblent permettre de diminuer le nombre de composés et parfois les concentrations
- ✓ Les molécules les plus retrouvées (concentration et fréquence) dans les lisains ne sont pas les mêmes que dans les boues (groupes de personnes différents, accumulation, sorption / dégradation / molécules excrétées par voie biliaire), ni que dans les lisiers

➤ Conclusions : urinofertilisants



- ✓ Les urinofertilisants contiennent **une diversité de médicaments** (jusqu'à 20 composés), principalement des anti-inflammatoires et des antibiotiques (+ la caféine) dans une **large gamme de concentrations** (< 1 µg/L à 11 mg/L)
← dépend des quantités prises et de leur métabolisation dans l'organisme
 - ✓ Le stockage de l'urine (Lisain) ne permet pas d'éliminer les médicaments
Les **traitements ciblés** (ex. charbon actif) semblent permettre de diminuer le nombre de composés et parfois les concentrations
 - ✓ Les molécules les plus retrouvées (concentration et fréquence) dans les lisains ne sont pas les mêmes que dans les boues (groupes de personnes différents, accumulation, sorption / dégradation / molécules excrétées par voie biliaire), ni que dans les lisiers
- ☐ Déterminer les taux d'élimination lors du stockage et des autres traitements (analyses avant / après traitement) ?

➤ Conclusions : devenir dans les sols

- ✓ Dans les sols fertilisés, seulement **quelques molécules** retrouvées à **très faibles concentrations** (qqq $\mu\text{g/kg MS}$), même après des décennies de fertilisation,
→ risque d'accumulation et de disponibilité faible dans les sols
- ✓ Concentrations retrouvées < concentrations prédites
← **dissipation** au champ (formation résidus non extractibles, dégradation)
composés +/- persistants
- ✓ Sols amendés par les boues : un peu plus de molécules retrouvées à des concentrations faibles



➤ Conclusions : devenir dans les sols

- ✓ Dans les sols fertilisés, seulement quelques molécules retrouvées à très faibles concentrations (qqq $\mu\text{g/kg}$ MS), même après des décennies de fertilisation,
→ risque d'accumulation et de disponibilité faible dans les sols
 - ✓ Concentrations retrouvées < concentrations prédites
← dissipation au champ (formation résidus non extractibles, dégradation)
composés +/- persistants
 - ✓ Sols amendés par les boues : un peu plus de molécules retrouvées à des concentrations faibles
- ☐ Déterminer les risques écotoxicologiques ?
 - ☐ Comparer les filières de gestion de l'urine ? (sép° source, STEU / avec ou sans traitement des micropolluants)

