

Contamination en antibiotiques des sols agricoles par les déchets de l'assainissement urbain : évaluation des transferts potentiels vers le réseau hydrographique par le drainage agricole et les processus de ruissellement

Tuc Dinh¹, Elodie Moreau-Guigon¹, Julien Tournebize², Pierre Labadie¹, Fabrice Alliot¹, Marc Chevreuil^{1*}

¹UMR Sisyphe / EPHE, UPMC, 4 place Jussieu 75252 Paris Cedex 05

² Cemagref, UR HBAN, Parc de Tourvoie, 92163 Antony Cedex

*marc.chevreuil@upmc.fr

1 Introduction

Les études antérieures réalisées dans le cadre du programme PIREN-Seine ont permis de mettre en évidence une contamination par les antibiotiques des eaux de surface du bassin versant de la Seine. En France, l'utilisation intensive des antibiotiques en médecine humaine et animale et comme agent prophylactique dans les élevages animaux est à l'origine de cette contamination. Bien qu'il n'existe pas actuellement de réglementation concernant leur niveau de présence dans les rejets et l'environnement, ces données justifient l'intérêt et la nécessité de définir les sources et le mode de transfert de ces substances pharmaceutiques afin d'obtenir une meilleure caractérisation de la présence de ces molécules et de leur comportement dans l'environnement.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à la contamination de la Seine par des rejets directs de stations d'épuration en zone urbaine et de piscicultures ainsi qu'à l'évolution des concentrations suivant les différentes filières d'épuration des eaux (Tamtam et al., 2007; Tamtam et al., 2008). Nous avons mis en évidence des rejets d'antibiotiques aux niveaux des stations d'épurations de l'agglomération parisienne, mais aussi une forte adsorption de certaines de ces molécules dans les boues résiduelles. Les antibiotiques utilisés en médecine humaine et animales sont excrétés par le corps sous forme inchangée, de métabolites actif ou inactif. Ils sont ainsi susceptibles de se concentrer dans les boues urbaines ou dans les effluents d'élevage.

C'est pourquoi depuis cette année, nous avons focalisé notre étude sur les apports indirects via des sols contaminés par l'épandage des boues urbaines ou d'élevage en zone agricole. En particulier, nous nous intéressons au risque de transfert de ces molécules vers les cours d'eau en fonction du cycle hydrologique, des saisons, des pratiques agricoles, de la filière de traitement des boues et de la réglementation. Néanmoins, le cas des effluents d'élevage n'a actuellement pas pu être traité, malgré des prises de contact avec des éleveurs – agriculteurs.

2 Objectifs

Dans le cadre de cette étude, plusieurs objectifs ont été déterminés:

- i. Caractérisation de la présence d'antibiotiques dans les boues en fonction des filières de production et de la maturité (âge/stockage) des boues
- ii. Contamination de sols après épandage récents ou plus anciens par rapport à des sols de référence tels que des prairies et forêts.
- iii. Comportement des antibiotiques dans les sols : dégradation, percolation, adsorption.
- iv. Etude du transfert latéral vers les cours d'eau par ruissellement superficiel et étude du transfert vertical (via le drainage) vers les aquifères ?

Cette année, nous avons commencé à réaliser trois des quatre objectifs. Seul le troisième objectif sur le comportement des antibiotiques dans les sols a été reporté à l'année suivante.

3 Matériel et Méthodes :

3.1 Protocole analytique

3.1.1 Extraction et purification des boues et des sols.

Ultrason-extraction

Les échantillons de boues (2 g) ou de sédiment (2 g) sont mis dans un tube en verre de 30 ml, auxquels on ajoute 10 ml de solvant d'extraction (NaOH 2,5% / pH 2/méthanol 20/80 v/v, + 0,1 % EDTA 1 M) avant d'agiter. On passe le mélange à l'ultrason pendant 15 min puis on centrifuge le tube (2500 r/min pendant 5 min) et on récupère le surnageant dans un tube en verre de 50 ml. Le culot est passé aux ultrasons encore une fois avec les mêmes procédures que précédemment mais dans un solvant acide (l'acide phosphorique 1M, pH 2/méthanol 20/80 v/v, + 0,1 % EDTA 1 M). Enfin, les deux extraits sont mélangés et évaporés jusqu'à environ de 2 ml sous flux d'azote, chauffé à 40°C.

Extraction en phase solide (SPE)

Les extraits sont ensuite dilués dans 50 ml de l'eau MQ et mis en pH4 avec de l'acide phosphorique 5% ou NaHO 5%. Les extraits dilués sont ensuite purifiés sur cartouches Oasis HLB (150 mg, Waters). Les procédures SPE sur la cartouche HLB sont décrites dans un précédent rapport (Eurin et al., 2006).

3.1.2 Analyses des 20 molécules

La liste des molécules recherchées a été allongée cette année grâce à l'acquisition d'un appareil HPLC/MS/MS. Le détail de l'analyse est décrit dans le rapport "Contamination du réseau hydrographique de la Seine par les antibiotiques depuis les têtes de bassin jusqu'à l'axe fluviale" (Dinh et al., 2010).

3.2 Description des filières de production des boues urbaines

Des échantillons de boues issues de différentes stations d'épuration (STEP) ont été analysés. Trois boues proviennent des stations du SIAAP: Seine Aval (SAV), Seine Grésillons (SEG) et Seine Centre (SEC) et ont été prélevés en 2009. Une quatrième boue provient de la STEP de Lagny.

Ces boues sont issues de différentes filières de production et d'effluents variés.

Les filières des stations du SIAAP ont été précédemment décrites dans le détail (Blanchard et al., 2009):

- SAV (site Seine Aval - Achères) correspond à des boues déshydratées qui ont subi une digestion puis un conditionnement thermique (20 bars / 150°C) et une déshydratation par filtre presse
- SEG (site Seine Grésillons - Triel Sur Seine): ce sont des boues séchées qui ont subi une déshydratation par centrifugation suivi par un séchage thermique
- SEC (site Seine Centre - Colombes) : ce sont des boues déshydratées qui ont subi une centrifugation

La STEP de Lagny est située sur la commune de St Thibault les Vignes et gérée par le SIARL. Cette STEP contient un système de bassin combiné pour les boues (décanteur/ boues biologiques), puis celles-ci sont déshydratées par centrifugation et stockées dans un silo à fond plat avant d'être valorisées en agriculture (SIAM, 2010).

3.3 Description des sites

3.3.1 Orgeval

En Seine et Marne, 28000 tonnes de boues de station d'épuration sont épandus chaque année (ORDIF, 2003). Sur le territoire du GIS ORACLE, autour du bassin versant expérimental de l'Orgeval, il a été recensé 1500 ha de sols (soit 18% de la SAU) qui ont reçus ou sont inscrits sur un plan d'épandage de boues de station d'épuration (Figure 1).

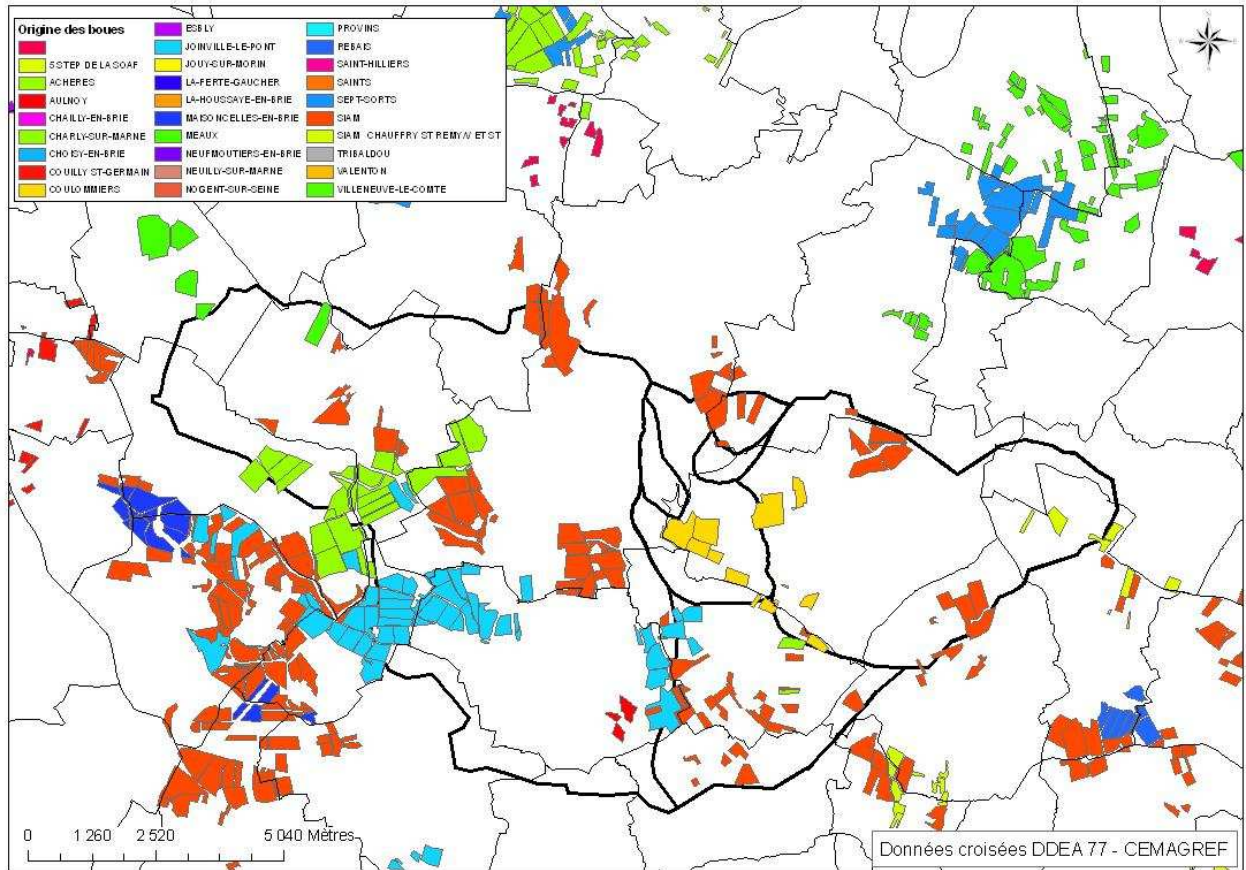


Figure 1: Origines des boues dans la région du bassin de l'Orgeval

Suite à une investigation, nous avons pris contact avec un agriculteur (M. Heusele) qui épand régulièrement des boues de stations d'épuration sur ses parcelles agricoles. Ces parcelles sont proches du bassin de l'Orgeval sur la commune de Giremoutiers (près de l'aérodrome de Coulommiers, Seine et Marne). L'exploitation agricole mesure 160 ha et Mr Heusele y cultive en alternance : 75 ha de Blé, 25 ha de Maïs, 19 ha de Féveroles, 17 ha de Lin, 10 ha de Pommiers acides et environ 7 ha de jachères et bandes enherbées.

L'épandage de boues est effectué généralement entre août et septembre et les boues proviennent de la station d'épuration de Lagny. Avant l'épandage sur parcelle, la boue est déposée sur une aire de stockage avec récupération des eaux lixiviées et mélangée régulièrement.

La quantité de boues épandues a varié de 20-25 t / ha à 16-17 t / ha aujourd'hui en raison de la trop forte teneur en azote. La fréquence d'épandage sur une parcelle varie entre 7 et 10 ans. Cela signifie qu'une parcelle ne reçoit qu'une fois tous les 7 à 10 ans des boues de stations d'épuration. Généralement, l'épandage des boues s'intègre sur chaume avant maïs dans la rotation agricole.

Après discussion avec Mr Heusele, nous avons retenu deux parcelles (n°3 et 5). Sur la parcelle 5, les drains sont à environ 80-100 cm de profondeur, avec un écartement de 10m. Sur la parcelle 3, les drains sont en poterie à environ 120 cm de profondeur et avec 15-20 m d'écartement.

Un épandage a été effectué en 2005 sur la parcelle 3 et en septembre 2008 avant la culture de betterave sur la parcelle 5 (Tableau 1).

Tableau 1 : Rotation des cultures des parcelles 3 et 5 (en grisé, année avec épandage)

Parcelle N°5		Parcelle N°3	
Année	Culture	Année	Culture
2001	Maïs	2001	Blé
2002	Blé	2002	Lin
2003	Lin/Betterave	2003	Blé
2004	Blé	2004	Maïs
2005	Féveroles	2005	Blé
2006	Blé	2006	Maïs
2007	Lin Textile	2007	Blé
2008	Blé	2008	Colza
2009	Betterave	2009	Blé

Le 26 janvier 2009, un échantillon de boue provenant de l'aire de stockage et un échantillon de sol de la parcelle 5 ont été prélevés. Ce prélèvement a été complété le 11 février par un échantillon composite du sol de chaque parcelle.

De plus, l'eau provenant des drains de ces parcelles ont également été prélevée en trois dates (26 et 28 janvier, 11 février 2009). Lors du dernier échantillonnage, l'eau du fossé qui réceptionne les drains a aussi été collectée.

3.3.2 La Charmoise

La rivière Charmoise est un affluent de la Rémarde, située dans le bassin de l'Orge. Elle reçoit le rejet de la station d'épuration (STEP) de Fontenay-les-Briis qui traite les effluents domestiques de la ville Fontenay-les-Briis et ceux de l'hôpital de Bligny. Les deux effluents sont séparés, et mélangés juste avant d'entrer dans la STEP. Cette séparation nous permet d'effectuer des prélèvements correspondant à la sortie de l'hôpital et des réseaux domestiques.

Cette STEP contient un bassin combiné (décanteur/boues activées), les boues sont ensuite séchées par dessiccation sur un lit de sable puis stockées avant épandage sur des parcelles agricoles proche de la STEP.

Courant 2010, une parcelle située en amont de la STEP sur la Charmoise va recevoir des boues de celle-ci. Cette parcelle nous permettra d'étudier les impacts d'épandage des boues urbaines sur les sols agricoles, sur la contamination des eaux de drainage ainsi que la migration de ces antibiotiques dans la colonne de sol.

Différents échantillons ont été effectués dans la rivière et dans la STEP. Les premiers résultats sont décrits dans le deuxième rapport (Dinh et al., 2010), ceux concernant les boues et sols sont actuellement en cours d'analyse. L'étude sur ce bassin se poursuit en 2010.

4 Résultats

4.1 Les boues

En 2009, dans ces quatre boues, 9 antibiotiques sur 20 ont été quantifiés (Tableau 2). Il s'agit de molécules utilisées en médecine humaine (domestiques et hospitaliers) et vétérinaire : tétracycline, triméthoprimine et 7 quinolones (fluméquine, acide pipémidique, énoxacine, loméfloxacine, norfloxacine, ciprofloxacine, ofloxacine).

La triméthoprimine est la plus fréquemment détectée. Elle est peu retenue par les processus de traitement des eaux usées et se retrouve dans les effluents de sortie (Lindberg et al., 2006).

Les quinolones sont fortement retenues dans les boues de STEP en raison de leur constante de sorption. Elles sont peu dégradées par digestion anaérobie (Golet et al., 2003; Vieno et al., 2007).

La boue de la STEP de Lagny contient le plus grand nombre d'antibiotiques mais les teneurs sont comparables à celles des 3 autres stations sauf pour la tétracycline qui n'a pas été décelée ailleurs.

En 2008 et en 2009, les boues provenant de la STEP Seine Grésillons présentent les teneurs les plus fortes en quinolones par rapport aux deux STEP. La contamination des boues des trois stations est comparable d'une année sur l'autre. D'ailleurs, la consommation en France des trois familles d'antibiotiques recherchés est restée stable entre 2006 et 2007 (ESAC, 2010).

Tableau 2: teneurs (ng/g) en antibiotiques dans les 4 boues prélevées en 2009 et report des résultats acquis en 2008

Familles	Molécules	Boues 2009 (ng/g)				Boues 2008 (ng/g)		
		Lagny	SAV	SEG	SEC	SAV	SEG	SEC
Tétracycline	Tétracycline	106	-	-	-			
	Chlorotétracycline	-	-	-	-			
Beta-lactamines	Amoxiciline	-	-	-	-			
Diaminopyrimidine	Triméthoprimine	2	5	3	19	29,7	-	11,1
	Ormétoprimine	-	-	-	-			
Sulfamides	Sulfadimidine	-	-	-	-			
	Sulfaméthoxazole	-	-	-	-	-	-	12,9
Quinolones	Acide oxolinique	-	-	-	-			
	Acide nalidixique	-	-	-	-			
	Fluméquine	-	4	2	-			
	Acide pipémidique	11	-	6	12			
	Enrofloxacine	-	-	-	-			
	Enoxacine	14	-	-	-			
	Loméfloxacine	7	-	-	-			
	Sarafloxacine	-	-	-	-			
	Norfloxacine	104	26	74	-	-	117,2	20,1
	Ciprofloxacine	57	25	81	-	27,8	-	-
Ofloxacine	153	38	91	-	11,3	79,9	25	
Imidazolés	Ornidazole	-	-	-	-			
Macrolines	Tylosine	-	-	-	-			

(- : inférieur aux limites de détection, en gris: molécule non recherchée)

4.2 L'Orgeval

4.2.1 Hydrologie

En se basant sur les observations issues du bassin de l'Orgeval (GIS ORACLE, 2010), il est possible d'établir un bilan hydrologique des parcelles étudiées. Les études précédentes du Cemagref (Tournebize et al. 2008) ont montré que le lessivage de produit appliqué en surface de sol avait une dynamique temporelle différenciée (Figure 2). Les produits appliqués au dessus du drain (à l'abscisse 500) s'exportent, par le drain, très rapidement (dès quelques millimètres de pluie efficace, soit au bout de quelques heures à quelques jours) alors que ceux appliqués à l'interdrain, s'exportent très lentement. En effet, un cumul de 1000 mm de pluie efficace est nécessaire, soit après 3 à 5 ans de drainage.

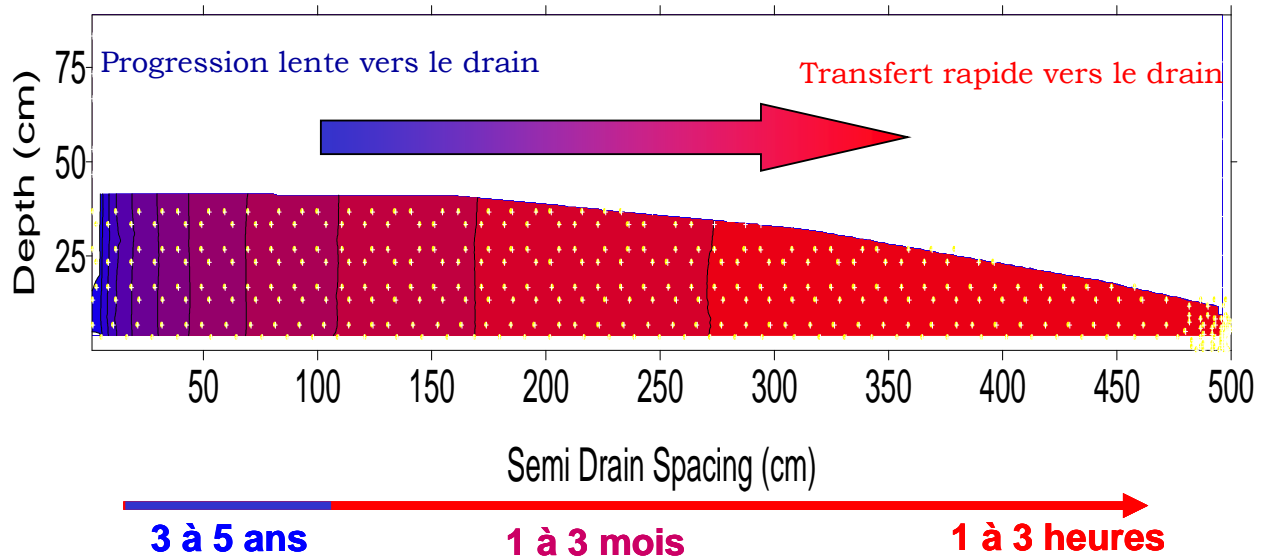


Figure 2: Schéma de la répartition des temps de transfert en parcelle drainée type sur la base d'un écartement des drains de 10 m, une profondeur des drains de 90 cm et un volume annuel moyen drainé de 200 mm (moyenne calculée de 1986 à 2003).

Le Tableau 1 présente les bilans hydrologiques en parcelle drainée observée sur le bassin de l'Orgeval, à partir des données du GIS ORACLE. Il est à noter que l'hiver hydrologique 2008-2009 est sec par rapport à la moyenne observée sur le bassin de l'Orgeval. La moyenne des écoulements en période de drainage est de 170mm, contre 57 mm mesurée en 2008-2009.

Tableau 3 : Bilan hydrologique de l'année 2008-2009.

	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	Drainage (mm)
Saison de drainage intense Du 21/01/09 au 17/05/09	231.8	167.4	64.4	44.65
BILAN	619.8	741.0	-121.2	57.2

Les trois prélèvements ont été effectués après les deux premiers pics de drainage de la saison (Figure 3), donc au début de la reprise du drainage.

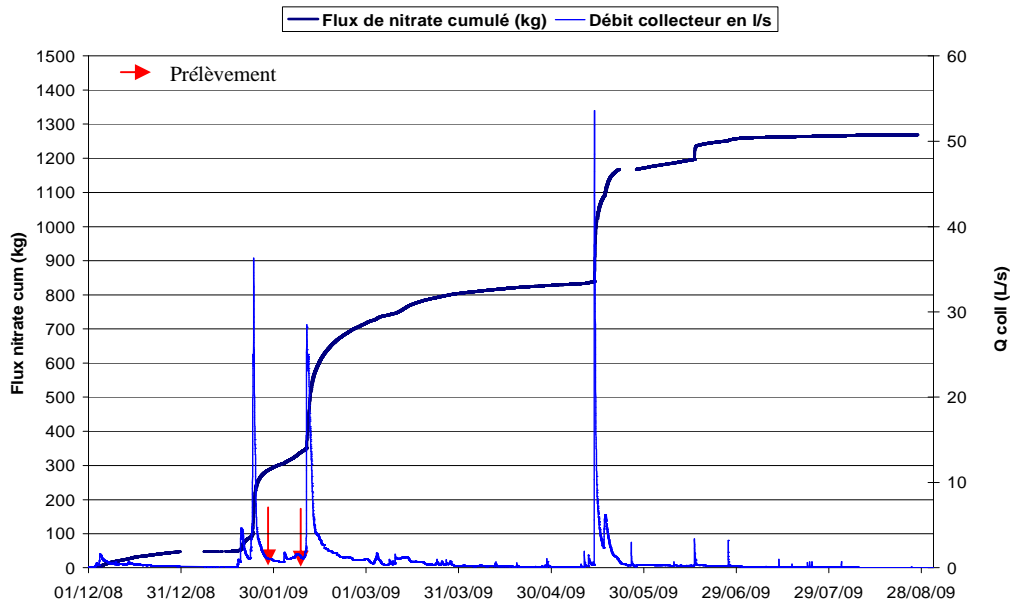


Figure 3: Chronique des écoulements de drainage mesurés sur parcelle drainée (BV Orgeval, données GIS ORACLE).

4.2.2 Teneurs dans la boue épandue et les sols, concentrations dans les eaux de drainage

Sur la Figure 4, nous observons que le sol de la parcelle n°5 est faiblement contaminé en antibiotiques, comparativement à celui de la parcelle n°3. Contrairement à cette dernière, la parcelle n°5 a été amendé récemment en septembre 2008 et il est probable que la boue ne soit pas encore complètement homogénéisée avec le sol et que nous n'ayons pas prélevé un échantillon représentatif du niveau de contamination, malgré la réalisation d'un échantillon moyen à partir de trois prélèvements distants de dix mètres. Les quatre principales molécules détectées dans la parcelle 5 sont les même que celles analysées dans la boue épandue : tétracycline, norfloxacine, ciprofloxacine et ofloxacine. Paradoxalement leur importance relative est différente, ainsi l'ofloxacine molécule peu soluble (28mg/l) qui atteint une valeur maximale dans la boue de l'ordre de 150 µg/kg, n'est que la deuxième molécule en abondance dans le sol après la tétracycline pourtant très soluble (170mg/l) dont la teneur est la plus importante (90 µg/g) dans le sol amendé. En considérant la teneur des boues échantillonnées sur l'aire de stockage, en même temps que le sol et la quantité de boue épandue sur la parcelle n°5, soit 16 t/ha, on peut estimer le sol aurait reçu en septembre 2008, 7 g/ha d'antibiotiques dont 5,5 g/ha de quinolone.

A noter que l'ofloxacine et la tétracycline sont deux molécules également décelées dans les sédiments de cours d'eau en aval de rejet de STEP, la teneur en ofloxacine y étant comme dans les boues 50 fois supérieure à celle de la tétracycline (Dinh et al., 2010).

De plus, des phénomènes de re-transformation de métabolites en produit parent, ou de dé conjugaison peuvent se produire pour certaines molécules, en augmentant ainsi les teneurs décelables dans les matrices (Gobel et al., 2004; Lindberg et al., 2006).

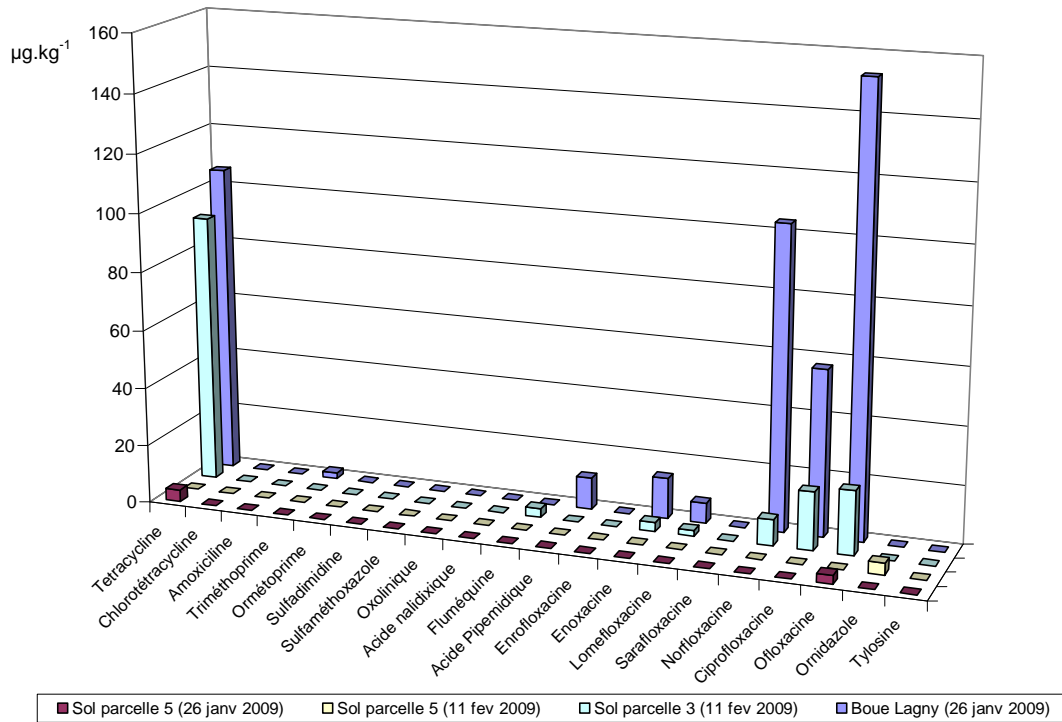


Figure 4: Teneurs en antibiotiques dans la boue (26/01/2009) et dans les sols des parcelles 3 et 5 (11/02/2009)

Cinq antibiotiques ont été décelés dans les eaux de drainage, Les molécules détectées sont la tétracycline, la triméthoprime, la sulfadimidine, la ciprofloxacin et l'ofloxacin. Ces molécules sont présentes dans la boue de Lagny à des teneurs relativement élevées sauf pour la triméthoprime et la sulfadimidine. Ces deux dernières sont plus solubles et ont une constante de sorption plus faible. Elles ont donc tendance à passer en phase aqueuse.

Le norfloxacin retrouvé en forte teneur dans la boue, n'est pas décelée dans les eaux de drainage contrairement à la ciprofloxacin et à l'ofloxacin. Celle-ci étant très soluble, elle peut être lessivée avec les premières eaux de drainage qui se sont écoulées quelques jours avant nos prélèvements.

Aucun antibiotique n'a été détecté dans les fossés de drainage. Cela peut s'expliquer par un effet de dilution avec des eaux non contaminées ou par la fixation de ces molécules sur les sédiments.

La contamination des eaux de drainage de la parcelle 3 est à peine inférieure à celle de la parcelle 5, la plus récemment amendée. La tétracycline, est la plus présente dans le premier échantillon d'eau de drainage comme dans le sol

La fluméquine décelée dans le sol ne l'est pas dans aucun des échantillons d'eau prélevé. Cette molécule de la famille des quinolones est relativement adsorbables et persistante. Golet et al. (2003) ont montré que les quinolones migrent progressivement dans le sol au cours du temps. Malgré les teneurs décelés en surface, seule une faible fraction est susceptible d'être lessivée avec l'eau de drainage. En revanche, la triméthoprime qui est plus soluble et moins adsorbable présente plus d'aptitude à un transfert vers le ru.

Au niveau de la parcelle 5, la molécule la plus abondante est l'ofloxacin une molécule pourtant peu soluble. Sa présence pourrait s'expliquer par sa migration à l'état adsorbé sur les particules fines entraînée dans les drains.

Tableau 4: Concentrations en antibiotiques dans les eaux de drainage et dans les fossés

Famille	Molécules	Parcelle 3			Fossé parcelle 3		Parcelle 5			Fossé parcelle 5
		26/01/2009	28/01/2009	11/02/2009	11/02/2009	26/01/2009	28/01/2009	11/02/2009	11/02/2009	
Tetracycline	Tetracycline	10	-	-	-	-	-	6	-	
	Chlorotétracycline	-	-	-	-	-	-	-	-	
Beta-lactamines	Amoxiciline	-	-	-	-	-	-	-	-	
Diaminopyrimidine	Triméthoprime	24	-	-	-	6	2	2	-	
	Ormétoprime	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sulfamides	Sulfadimidine	-	-	-	-	-	2	-	-	
	Sulfaméthoxazole	-	-	-	-	-	-	-	-	
Quinolones	Oxolinique	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Acide nalidixique	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Fluméquine	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Acide Pipemidique	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Enrofloxacin	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Enoxacin	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Lomefloxacin	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sarafloxacin	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Norfloxacin	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Ciprofloxacin	-	-	-	-	-	-	6	-	
	Ofloxacin	4	-	-	-	-	2	16	-	
Imidazolés	Ornidazole	-	-	-	-	-	-	-	-	
Marcrolines	Tylosine	-	-	-	-	-	-	-	-	

(- : inférieur aux limites de détection)

Les volumes cumulés de drainage mesurés depuis l'hiver 2005-2006, année à partir de laquelle les épandages de boue ont été effectués sur les parcelles, jusqu'à l'année 2009, s'élèvent à 380 mm. Si on se réfère à la Figure 2, ce volume n'est pas suffisant pour lessiver tout efficacement les molécules organiques présentes à l'état de trace à la surface de sol.

5 Conclusion et perspectives

Ces premiers résultats montrent que la valorisation de déchets en amendement de sols agricoles peut aboutir à une contamination des sols et au transfert d'antibiotique à partir des parcelles drainées. Les proportions relatives des molécules décelées dans les eaux de drainage, les sols et les boues diffèrent fortement. Elles résultent de la superposition de nombreux paramètres concernant les propriétés physico-chimiques des molécules, les pratiques agricoles et l'évolution des transferts hydriques. Par ailleurs, il s'avère nécessaire de pouvoir prendre en considération divers paramètres tels que l'âge des boues, leur période de stockage sur parcelle, mode d'incorporation...etc.

La progression des molécules et leur persistance à travers les différents horizons de la zone non saturée pourront être mieux appréhendées à partir des profils d'échantillonnages effectués l'été suivant dans ces deux parcelles. Les échantillonnages ont été réalisés sur un profil d'un mètre de profondeur au droit des drains et de la mi-distance inter drains, afin de pouvoir appréhender le cas échéant l'hétérogénéité des transferts verticaux en fonction de celle de la surface piézométrique des nappes temporaires. Ces échantillons seront analysés en 2010 et l'exploitation des résultats permettra d'envisager les conditions de poursuite des travaux sur site dans la phase ultérieure du programme.

Les objectifs scientifiques concerneront tant le devenir des composés dans le sol que l'impact des pratiques agricoles sur le risque de contamination indirecte des cours d'eau ainsi la compréhension des mécanismes percolation/adsorption dégradation nécessitera la conduite de travaux en parallèle sur des pilote de laboratoire en collaboration avec le Cemagref.

6 Références bibliographiques

- Blanchard M., Alliot F., Bourges C., Dargnat C., Desportes A., Dinh T., Eurin J., Labadie P., LeBot B., Mompelat S., Moreau-Guigon E., Tamtam F., Teil M.-J. and Chevreuil M., 2009. Contamination des boues urbaines issues de différentes filières d'épuration. Exemple des phtalates, des polybromodiphényl éthers, des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des antibiotiques. Rapport d'activité du programme PIREN Seine 2008, Paris, pp.
- Dinh T., Lavison G., Labadie P., Candido P., Augustin V., Alliot F., Moreau-Guigon E. and Chevreuil M., 2010. Contamination du réseau hydrographique de la Seine par les antibiotiques depuis les têtes de bassin jusqu'à l'axe Seine. Rapport d'activité du programme PIREN Seine 2008, Paris, pp.
- Eurin J., Tamtam F., Ollivon D., Larcher-Tiphagne K. and Chevreuil M., 2006. Les antibiotiques dans les eaux de surface du bassin de la Seine: évaluation de la contamination dans différents milieux. Rapport d'activité du programme PIREN Seine 2005, Paris, pp. 9.
- ESAC, European Surveillance of Antimicrobial Consumption, 2010. http://app.esac.ua.ac.be/public/index.php/en_gb/home (accès le 03/02/2010)
- GIS ORACLE, 2010. <https://gisoracle.cemagref.fr/> (accès le 07/02/2010)
- Gobel A., McArdeall C.S., Suter M.J.F. and Giger W., (2004). Trace Determination of Macrolide and Sulfonamide Antimicrobials, a Human Sulfonamide Metabolite, and Trimethoprim in Wastewater Using Liquid Chromatography Coupled to Electrospray Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*. 76, 4756.
- Golet E.M., Xifra I., Siegrist H., Alder A.C. and Giger W., (2003). Environmental Exposure Assessment of Fluoroquinolone Antibacterial Agents from Sewage to Soil. *Environmental Science & Technology*. 37, 3243.
- Lindberg R.H., Olofsson U., Rendahl P., Johansson M.I., Tysklind M. and Andersson B.A.V., (2006). Behavior of Fluoroquinolones and Trimethoprim during Mechanical, Chemical, and Active Sludge Treatment of Sewage Water and Digestion of Sludge. *Environmental Science & Technology*. 40, 1042.
- ORDIF, Observatoire Régional des Déchet d'Ile de France, 2003. L'actualité des boues de station d'épuration en IdF. Compte-rendu des échanges de la journée technique de l'ORDIF du 9 octobre 2003. <http://www.ordif.com/public/fiche/boues-de-station-d-epuration.html?rub=14350&id=9315> (accès le 07/02/2010)
- SIAM, Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Marne-la-Vallée, 2010. <http://www.siam77.fr/Station.htm> (accès le 03/02/2010)
- Tamtam F., Almayrac J.-L., LeBot B., Mercier F., Bredeloux M., Desportes A., Eurin J. and Chevreuil M., 2008. Les antibiotiques dans les eaux de surface: première évaluation de la contamination de la Seine et de rejets de stations d'épuration. Rapport d'activité du programme PIREN Seine 2007, Paris, pp. 12.
- Tamtam F., LeBot B., Eurin J., Mercier F. and Chevreuil M., 2007. Les antibiotiques dans les eaux de surface du bassin de la Seine: Suivi des molécules en station d'épuration. Rapport d'activité du programme PIREN Seine 2006, Paris, pp. 8.
- Tournebize, J., Arlot, M. P., Billy, C., Birgand, F., Gillet, J. P., and Dutertre, A., 2008 . Quantification et maîtrise des flux de nitrates : de la parcelle drainée au bassin versant. Ingénierie Eau Agriculture et Territoires. Special Issue, 5-25.
- Vieno N., Tuhkanen T. and Kronberg L., (2007). Elimination of pharmaceuticals in sewage treatment plants in Finland. *Water Research*. 41, 1001.