

# Détermination de l'efficacité fertilisante et des émissions gazeuses de fertilisants à base d'urine humaine

Tristan Martin<sup>1,2</sup>, Florent Levavasseur<sup>1</sup>, Léa Tordera<sup>1</sup>, Kris Dox<sup>3</sup>, Fabien Esculier<sup>2</sup>, Sabine Houot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ECOSYS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850, Grignon, France ;

<sup>2</sup> LEESU, ENPC, UPEC, AgroParisTech, Université Paris-Est, 77455 Marne-la-Vallée, France ;

<sup>3</sup> Division of Soil and Water Management, Department of Earth and Environmental Science, KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 20, B-3001 Heverlee, Belgium

## Introduction

Les nutriments contenus dans nos excréta sont dilués dans les eaux usées et sont traités en station d'épuration. Ce traitement partiel ne permet qu'un recyclage limité en agriculture tout en maintenant des rejets importants vers les eaux de surface. Seulement 4 % de l'azote, 41 % du phosphore et 2 % du potassium présents dans les eaux usées de l'agglomération parisienne sont recyclés via l'épandage de boues d'épuration (Esculier et al., 2018). En parallèle, l'agriculture fait appel à des quantités importantes d'engrais minéraux, qui sont des ressources non renouvelables, soit produites via des procédés énergivores, soit extraites de mines. La totalité des consommations en azote, phosphore et potassium des systèmes agricoles franciliens pourraient être couvertes par les excréta des habitants de l'agglomération parisienne (calculé à partir de Esculier et al., 2018). Cette valorisation est particulièrement possible à travers les urines qui représentent environ les 3/4 de l'azote, la moitié du phosphore et plus des 2/3 du potassium présents dans les eaux usées, tout cela dans un faible volume (Eme et Boutin, 2015). L'urine est de plus, peu contaminée en métaux lourds et pathogènes. Des questions subsistent cependant sur les résidus médicamenteux. Une fois l'urine séparée à l'aide de toilettes à séparation ou urinoirs secs, une grande variété de traitements sont possibles pour différents buts : stabilisation de l'azote (acidification, nitrification...), traitement des résidus médicamenteux, réduction du volume, etc., résultant en de nombreux fertilisants à base d'urine ou urinofertilisants. Quelques études existent sur certains urinofertilisants mettant en lumière un potentiel fertilisant proche des engrais minéraux (Kirchmann et Petterson, 1995). Leurs performances agronomiques et les impacts environnementaux associés (volatilisation d'ammoniac et émissions de protoxyde d'azote) restent cependant peu étudiés. L'objectif de ce travail est donc de caractériser l'efficacité fertilisante de différents urinofertilisants ainsi que de quantifier leurs émissions gazeuses (NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O), via des essais en conditions contrôlées et au champ.

## Matériel et Méthode

### Essais agronomiques

Plusieurs expérimentations agronomiques ont été menées en 2017, 2018 et 2019 afin de caractériser l'efficacité d'utilisation de l'azote de différents urinofertilisants.

Tableau I – Liste des essais agronomiques menés avec utilisation d'urinofertilisants

Type essai	Culture	Année
Serre	Ray-grass anglais	2017 et 2018
Champ	Blé tendre hiver	2018 et 2019
	Blé tendre hiver bio	2018
	Colza	2018 et 2019
	Maïs grain	2019
	Maïs grain bio	2019
Agriculture urbaine	Légumes	2019

Ces expérimentations ont été effectuées en serre, en pot sur du ray-grass anglais ou aux champs sur plusieurs cultures représentatives du bassin parisien. Au total, 12 urinofertilisants ont été testés (dont 6 au champ), tels que : urine stockée, urine stockée nitrifiée et concentrée, urine fraîche acidifiée, urine stockée acidifiée, urine fraîche alcalinisée, urine fraîche alcalinisée et déshydratée, urine mélangée avec des copeaux de bois, urine fermentée... Ces urinofertilisants possèdent des caractéristiques physicochimiques variées : concentrations allant 0,3 à 10 %N, pH acide ou basique... Ils ont été comparés à un engrais minéral (nitrate d'ammonium), à un lisier bovin et à un traitement sans apports (0N). Les produits ont été apportés à la même dose d'azote, puis la biomasse a été récoltée, pesée et la teneur en azote mesurée. Les coefficients apparents d'utilisation de l'azote (CAU) et coefficient d'équivalence engrais (KeqN) ont été calculés.

$$CAU = \frac{N \text{ absorbé fertilisant} - N \text{ absorbé } 0N}{N \text{ apporté fertilisant}} \quad KeqN = \frac{CAU \text{ Urinofertilisant}}{CAU \text{ Engrais mineral}}$$

Une ANOVA suivi d'un test post-hoc Tukey HSD ont été réalisés pour déterminer les différences significatives entre les traitements.

### Mesure de la volatilisation NH<sub>3</sub> en conditions contrôlées

Pour ces mesures, les produits sont apportés en surface à la même dose d'azote sur des cylindres de sol reconstitués. Ces cellules sont fermées hermétiquement et traversées par un flux d'air laminaire constant. Le flux d'air passe ensuite dans un barboteur d'acide sulfurique qui piège l'ammoniac volatilisé et permet de le quantifier. En raison des conditions d'expérimentation, ce dispositif permet de mesurer un « potentiel » de volatilisation des produits sur un sol donné.

## Résultats

Les résultats de l'essai en serre mené sur du ray-grass ont mis en évidence une efficacité des urinofertilisants proche de l'engrais minéral. La plupart des urinofertilisants ont un KeqN supérieur à 80 % et une efficacité statistiquement différente d'un engrais organique classique comme le lisier bovin. Cette efficacité résulte de la forte proportion d'azote minéral dans la plupart des urinofertilisants. Nous pouvons cependant observer des efficacités plus faibles pour certains d'entre eux. Cela peut être expliqué par une organisation de l'azote de ces produits dû à un apport de matière organique (urine + copeau) ou de microorganismes (urine fermentée). Les urinofertilisants amènent aussi du phosphore et potassium comparé à un engrais minéral classique. Les résultats obtenus au champ sont similaires à ceux obtenus dans les essais en serre.

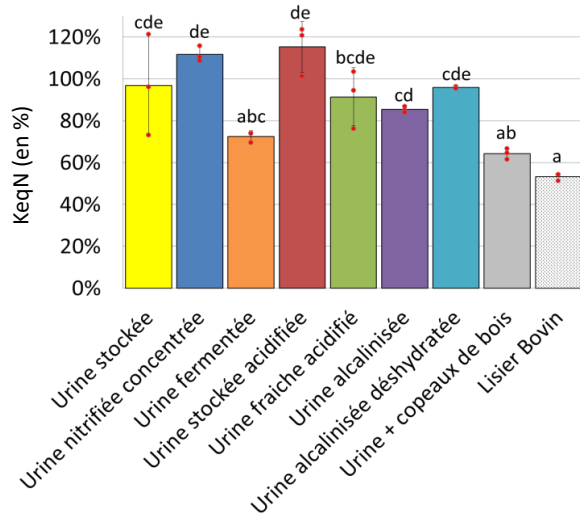


Tableau II - Volatilisation ammoniacale en fonction des produits épandus

Fertilisant	Volatilisation ammoniacale (en % azote épandu)	
	Moyenne	Écart-type
Urine stockée	16,4 %	5,7 %
Urine nitrifiée et concentrée	0,1 %	0,0 %
Lisier bovin	16,6 %	1,8 %
Compost + Urine (N de l'urine)	34,0 %	11,7 %
Solution de nitrate d'ammonium	0,1 %	0,0 %

Graphique I - Coefficient d'équivalence engrais azote pour l'essai en serre sur ray-grass anglais de 2018

La volatilisation dépend directement de la teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, du pH et de l'infiltration des produits dans le sol. Elle peut être élevée pour certains urinofertilisants comme l'urine stockée (90 % NH<sub>4</sub> et pH 9) ou le mélange urine stockée + compost (l'urine reste en surface avec le compost). Elle peut aussi être beaucoup plus faible et similaire à l'engrais minéral pour certains produits comme l'urine nitrifiée (50 % NO<sub>3</sub>, 50 % NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et pH4). Cependant, la volatilisation peut être limitée avec certaines méthodes d'épandage (injection, enfouissage). Des mesures en conditions réelles (NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O) sont en cours.

## Conclusion

L'efficacité des urinofertilisants est proche des engrais minéraux, mais certains impacts environnementaux comme la volatilisation ammoniacale doivent être suivis. Le recyclage de l'urine en agriculture semble avoir de nombreux bénéfices : diminution de la consommation d'énergie, de la pollution des masses d'eau... Cependant, les impacts associés aux filières de valorisation (transport, traitements...) peuvent varier grandement et doivent être quantifiés. Les risques liés aux résidus de pharmaceutiques doivent aussi être étudiés.

## Référence

- Eme, C. and Boutin, C., 2015. Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation. IRSTEA, ONEMA, CréaPure Éd.
- Esculier, F., Le Noë, J., Barles, S et al., 2018. The biogeochemical imprint of human metabolism in Paris Megacity: a regionalized analysis of a water-agro-food system. Journal of Hydrology.
- Kirchmann, H., and Pettersson, S., 1995. Human urine-chemical composition and fertilizer use efficiency. Fertil. Res. 40, 149–154.