

Titre : L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable

Mots clés : Urine humaine ; Séparation à la source ; Fertilisant ; Filière de valorisation ; Essais agronomiques ; Impacts environnementaux

Résumé : Pour nourrir les humains, l'agriculture actuelle est fortement tributaire de l'utilisation de fertilisants issus de ressources fossiles. Or la majorité des nutriments de l'alimentation est ensuite excrétée dans les urines. Celles-ci sont usuellement mélangées aux eaux usées dont la gestion ne permet qu'un faible recyclage de ces nutriments et entraîne de nombreux impacts environnementaux. L'objectif de cette thèse est de caractériser les filières envisageables de valorisation de l'urine humaine en agriculture au niveau agronomique et de leurs impacts environnementaux. Une revue de la littérature des différents traitements de l'urine et des urinofertilisants obtenus montre que : (i) l'efficacité agronomique de la plupart des urinofertilisants est haute et nécessite d'être davantage étudiée ; (ii) la majorité des pathogènes peuvent être facilement inactivés, les résidus de pharmaceutiques sont plus difficilement dégradés ; (iii) la consommation d'énergie et de réactifs des traitements peut être élevée. L'efficacité fertilisante d'une dizaine d'urinofertilisants a ensuite été mesurée au champ et en serre. Elle est élevée pour la majorité et proche de celle

des engrais minéraux (équivalence engrais de 52% à 120%). Elle est liée à une forte teneur en azote minéral dans la majorité des urinofertilisants. La volatilisation ammoniacale peut potentiellement être importante (e.g. 34% de l'azote en conditions propices), le pH élevé et la teneur en azote ammoniacal, selon les urinofertilisants, étant des facteurs de risque importants. Enfin, une évaluation par analyse du cycle de vie des impacts environnementaux associés à la production de céréales a été réalisée selon le mode de fertilisation : biologique et conventionnelle versus trois urinofertilisants. Les impacts sont plus faibles pour la majorité des indicateurs en comparaison aux pratiques actuelles, en grande partie grâce aux impacts évités de l'épuration des eaux usées et de la production d'engrais minéraux. La volatilisation ammoniacale et la consommation d'énergie des traitements sont les deux éléments les plus sensibles du bilan environnemental. Ces résultats montrent que le déploiement de filières de valorisation de l'urine humaine peut contribuer à une transition vers une gestion systémique et soutenable des nutriments.

Title : Human urine in agriculture : various management options contributing to sustainable nitrogen fertilization

Keywords : Human urine ; Source separation ; Fertilizer ; Management option ; Agronomic trials ; Environmental impacts

Abstract: To feed humans, agriculture mostly relies on the use of fertilizers derived from fossil resources. Yet, most nutrients from food are excreted in urines and mixed in wastewaters. Wastewater treatment allows only a weak recycling of the nutrients and has many environmental impacts. The objective of this thesis is to characterize the possible management options for the use of human urine in agriculture considering their fertilizing efficiency and their environmental impacts. A literature review of the various urine treatments and urine-based fertilizers shows that: (i) the fertilizing efficiency of most urine-based fertilizers is high but needs to be further studied; (ii) most pathogens in urine can be easily inactivated but pharmaceutical residues are more difficult to degrade; (iii) the energy and chemical consumption of treatments can be high. The fertilizing efficiency of ten urine-based fertilizers has been measured under greenhouse and field conditions. It is high for most of the urine-based fertilizers and close to that of mineral fertilizers (equivalent ranging

from 52% to 120%). It is linked to high mineral nitrogen content in the majority of urine-based fertilizers. Ammonia volatilization after field application can potentially be high (e.g. 34% of total nitrogen in favorable conditions). High pH and ammoniacal nitrogen content according to the urine-based fertilizers are important risk factors. Finally, a life cycle assessment of the environmental impacts for cereal production was carried out considering three urine-based fertilizers and two agricultural systems (conventional and organic). The impacts are lower for the majority of the indicators compared to the current practices. It is mainly due to the avoided impacts due to wastewater treatment and mineral fertilizers synthesis. Ammonia volatilization and the energy consumption of the treatments appear as the main environmental hotspots. These results show that the implementation of human urine management options can contribute to a transition towards a more sustainable and systemic management of nutrients.