



Collecte sélective des urines

Les eaux usées renferment de nombreuses ressources. Or leur traitement obéit surtout à des préoccupations d'ordre sanitaire ou relevant de la protection des eaux et n'accorde pas de priorité au recyclage. Étant donné que l'ensemble du système d'assainissement est conçu dans cet esprit, la récupération des ressources est difficile à son niveau. Une solution consiste alors à séparer les flux à la source, en amont de ce système. Si les urines, les matières fécales et les eaux grises sont collectées séparément, il est possible de les traiter spécifiquement [13].

La majeure partie des nutriments sont rejetés avec les urines: de 85 à 90 % de l'azote, de 50 à 80 % du phosphore et de 80 à 90 % du potassium [14]. Ces trois éléments sont également les principaux constituants des engrais. L'urine contient par ailleurs de nombreux autres nutriments très importants pour la croissance végétale, notamment du soufre. Pourtant, elle représente moins de 1 % de la quantité totale d'eaux usées. Il paraît donc intéressant de récupérer les matières nutritives de l'urine pour les réinjecter dans les systèmes agricoles.

L'urine peut être traitée sur place ou transportée par d'autres moyens que les WC classiques et les égouts afin d'éviter qu'elle ne soit inutilement diluée par l'eau d'entraînement. La séparation des urines à la source s'impose surtout dans les villes et les régions ne disposant pas d'égouts ou de quantités importantes d'eau. C'est le cas de la plupart des villes en forte expansion des pays à revenu faible et intermédiaire.

Applications de la collecte sélective des urines

Le traitement séparé des urines offre de nombreux avantages. Notamment:

Azote	85% – 90% de l'urine	féces
Potassium	80% – 90% de l'urine	féces
Phosphore	50% – 80% de l'urine	féces
Volume	> 99% – autres eaux usées	

Part de nutriments contenus dans les déjections humaines et part du volume occupé par l'urine dans les eaux usées. (Graphique: Eawag)

- L'urine est une source durable de nutriments. Les engrais à base d'urine permettent de restaurer la réciprocity entre ville et campagne en bouclant les cycles [7].
- Dans de nombreuses régions, les toilettes sèches sont dotées d'un système de séparation des urines et des solides pour permettre un meilleur séchage des matières fécales [8]. Celles-ci contiennent en effet de grandes quantités de matière organique qui peut être utilisée comme source d'énergie.
- Dans les stations d'épuration, l'élimination de l'azote est un procédé encombrant qui demande beaucoup d'énergie. La sé-

paration des urines permettrait d'augmenter l'efficacité des grandes stations centralisées en réduisant les quantités d'azote à éliminer [27].

- Si, suite aux changements climatiques, le niveau des rivières baisse sur des périodes de plus en plus longues, il est primordial de réduire les rejets d'azote pour que les concentrations dans le milieu restent supportables. Cet effort est facilité par un traitement séparé de l'urine. C'est cette stratégie qui a, par exemple, été choisie en aval de Paris pour protéger la Seine [26].
- Les nitrates, produits sur place à partir de l'urine, peuvent protéger les canalisations de la corrosion par réduction des sulfates [19].
- Les possibilités d'application du traitement de l'urine avec récupération des nutriments sont également à l'étude pour les missions de longue durée dans l'espace [4].

Difficultés

- **Contamination:** À sa sortie du corps humain, l'urine ne contient quasiment pas de microbes. Elle est cependant rapidement contaminée par des microorganismes, dont certains pathogènes, venant du milieu environnant ou des matières fécales lorsqu'elle est collectée dans les toilettes à séparation ou les urinoirs. Suite à cette contamination et aux processus microbiens consécutifs, l'urine collectée séparément à la source constitue une solution entièrement différente de ce qu'elle serait si elle était directement recueillie dans des flacons stériles [25]. Elle doit être désinfectée avant toute utilisation [10].
- **Pertes d'azote:** La majeure partie de l'azote de l'urine est présent sous forme d'urée. Cette dernière est dégradée en ammoniacque et en bicarbonate par une enzyme, l'uréase, contenue dans les bactéries, ce qui fait monter le pH à une valeur de 9 [24]. Dans les installations sanitaires domestiques insuffisamment équipées, une partie de cet azote s'évapore sous forme d'ammoniac gazeux [22], ce qui réduit la valeur du futur engrais et nuit à l'environnement. Il faut donc éviter, autant que possible, que l'urine non stabilisée soit au contact de l'air.
- **Obstruction des conduites:** L'augmentation du pH due à la dégradation de l'urée induit la formation de cristaux de phosphate de calcium et de struvite qui s'accumulent dans les cuvettes, siphons et conduites [24]. Par ailleurs, de la calcite peut se former si l'urine est entraînée par une eau trop dure. Ces minéraux, composés organiques et biofilms peuvent obturer les conduites qui peuvent alors être dégagées soit mécaniquement soit par un rinçage régulier avec une solution acide (10 % d'acide citrique par exemple) [16].
- **Odeurs:** Les bactéries ne dégradent pas uniquement l'urée mais également d'autres substances organiques [23]. L'odeur forte et désagréable que dégage l'urine un bout d'un certain temps est le résultat de tels processus de fermentation.
- **Médicaments:** Plus des deux tiers des substances actives de médicaments que nous rejetons se trouvent dans les urines [17]. Cet aspect est particulièrement significatif dans les régions où la consommation de médicaments est élevée, comme en Afrique du Sud suite au sida [2]. La collecte sélective des urines permet une élimination ciblée de ces substances dont le rejet dans l'environnement peut ainsi être évité.

Potentialités et débouchés

Fabrication d'engrais: La plupart des procédés visent à transformer l'urine en fertilisant. Il faut alors veiller à ce que

ce dernier ne représente pas de danger pour l'environnement et la santé humaine.

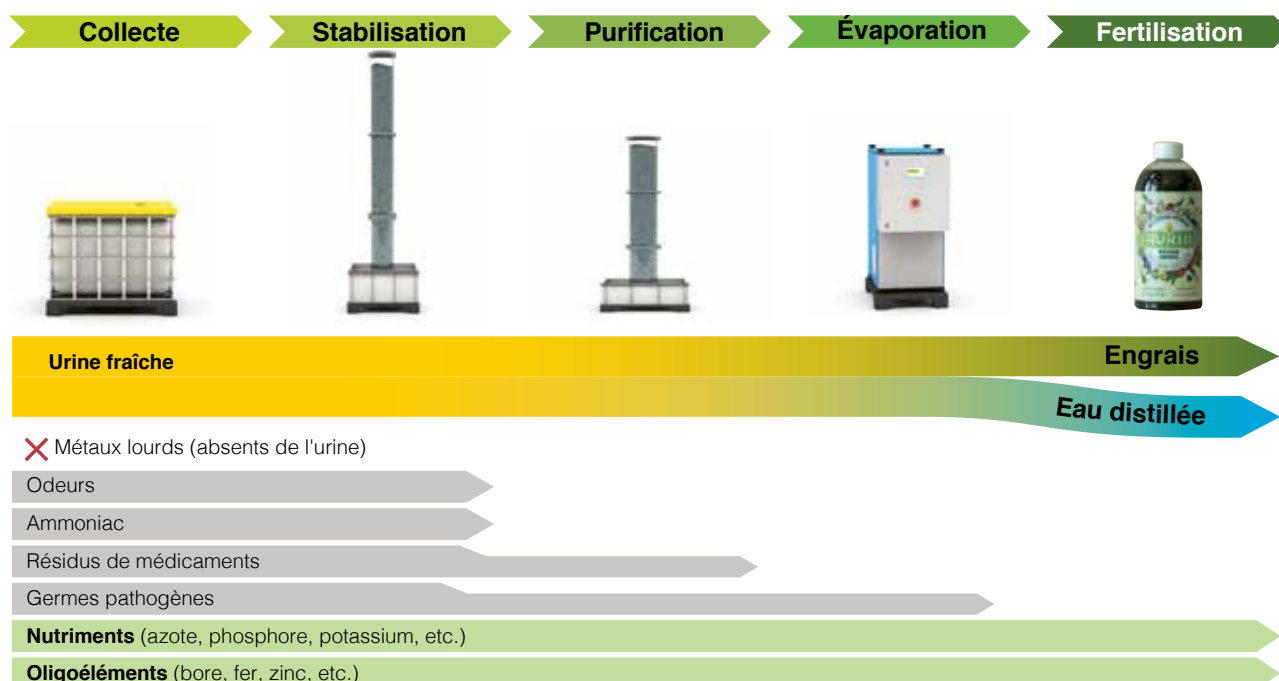
Épandage direct: Lorsqu'une utilisation de l'urine sans stabilisation est envisagée, il est conseillé de la laisser reposer six mois au préalable afin d'inactiver les pathogènes [10]. Certaines techniques d'application permettent également d'éviter les odeurs et les émanations d'ammoniac [12]. L'épandage direct n'est cependant possible que si l'urine est produite à proximité des surfaces agricoles étant donné qu'elle demande de grandes capacités de transport et de stockage. Malgré toutes les précautions, il est par ailleurs impossible d'exclure totalement tout problème d'odeurs ou de rejet de médicaments dans l'environnement.

Récupération d'un nutriment précis: Cet objectif demande généralement un traitement supplémentaire de désinfection et d'élimination des substances organiques ou des micropolluants si l'eau restante n'est pas acheminée vers une station d'épuration.

- **Phosphore:** Le processus le plus étudié est la précipitation du phosphore sous forme de struvite [6]. Une autre solution consiste à ajouter de l'hydroxyde de calcium à l'urine fraîche [21] pour former du phosphate de calcium à forte valeur fertilisante [18]. Attendu que l'hydroxyde de calcium ne peut être ajouté qu'à de l'urine fraîche pour éviter la formation de calcite, cette technique ne peut être employée que lorsque l'urine peut être traitée à proximité des toilettes. C'est le processus utilisé par l'Eawag dans les toilettes «Autarky» (www.autarky.ch).
- **Azote:** L'azote peut être extrait de l'urine stockée par un procédé de stripping. Ce dernier peut être combiné à une précipitation de struvite préalable. [1]

Récupération de l'ensemble des nutriments:

- **Électrodialyse, microfiltration et ozonation combinées:** Ce procédé permet d'extraire et de concentrer la plupart des nutriments tout en éliminant les médicaments et les microorganismes [20].
- **Chaîne de traitement nitrification / distillation:** Cette technique développée à l'Eawag [7] est exploitée par la spin-off Vuna. Le produit du procédé Vuna est un engrais liquide autorisé en Suisse et commercialisé sous le nom d'Aurin. Sa production se fait en trois étapes. Un traitement biologique est tout d'abord effectué pour empêcher le dégagement d'ammoniac et d'odeurs. Le produit obtenu est une solution contenant du nitrate d'ammonium et quelques composés organiques. Les résidus pharmaceutiques sont ensuite éliminés par adsorption sur charbon actif avant que, dans une dernière étape, la solution soit concentrée par évaporation puis pasteurisée par distillation. Le produit final est un liquide concentré d'un facteur 10 à 20 au fort pouvoir fertilisant [3]. Dans le système «Water Hub» du bâtiment expérimental NEST (www.eawag.ch/waterhub), les scientifiques de l'Eawag travaillent à l'amélioration du traitement des urines qui produit de l'Aurin. L'un des problèmes à résoudre concerne le traitement biologique de l'urine, rendu difficile par sa forte teneur en ammoniacque et son pH élevé. Il exige en effet une maîtrise délicate du pH. Une autre solution pourrait consister à empêcher le dégagement d'ammoniac par des ajouts d'acide. Mais les quantités nécessaires sont très importantes [5].



Le procédé Vuna. Contrairement aux engrais chimiques, l'Aurin, qui est fabriqué à partir de l'urine, ne renferme pas de métaux lourds

Autres utilisations de l'urine

- **Fabrication de briques:** Il a été proposé d'utiliser l'urine pour produire des briques. Pour ce faire, de l'urine stabilisée est mélangée à du sable. Les bactéries qui produisent de l'uréase synthétisent alors du carbonate de calcium à partir de l'urée et ce composé s'agglomère avec le sable pour produire une pierre biologique [9].
- **Récupération d'énergie:** L'urine peut être utilisée pour produire de l'énergie, par des procédés bio-électrochimiques, par exemple [15]. Étant donné, cependant, que la quantité d'énergie chimique contenue dans l'urine est relativement faible, cette application est limitée aux utilisations demandant peu d'électricité comme l'éclairage [11].

Collecte sélective: oui, mais comment?

Le traitement séparé des urines suppose qu'elles soient collectées, transportées et stockées séparément, en subissant aussi peu de contamination que possible par les matières fécales et une dilution aussi faible que possible par l'eau d'entraînement. Plusieurs systèmes ou «interfaces utilisateurs» (User Interfaces) peuvent aujourd'hui être employés à cet effet:

- **Urinoirs sans eau:** Les urinoirs sans eau avec divers systèmes anti-odeurs sont aujourd'hui bien établis sur le marché. Ils sont de plus en plus utilisés dans les festivals, les stades, les restaurants, etc. En revanche, les urinoirs à usage féminin, ou urinettes, n'ont pas encore réussi à s'imposer mais les recherches se poursuivent à leur niveau.
- **Toilettes sèches à séparation d'urine** Appelées UDDT en anglais (Urine Diverting Dry Toilet), ce sont les toilettes à séparation les plus répandues dans le monde. Elles sont souvent utilisées comme solution décentralisée dans les endroits reculés comme les refuges de montagne mais aussi, de plus en plus souvent, en ville. La séparation s'effectue à l'aide d'un tapis d'entraînement spécial situé sous le siège (Ecodomeo ou Sanisphère) ou d'un cloisonnement de la cuvette. La séparation des flux ne sert pas uniquement à la

collecte sélective de l'urine mais permet également de réduire l'humidité des selles, ce qui limite les odeurs et facilite leur compostage futur. Les toilettes sèches à séparation d'urine ne nécessitent pas d'ajout de litière ou de sciure.

- **Toilettes séparatrices à chasse d'eau:** Les toilettes à chasse d'eau et à séparation d'urine les plus courantes à ce jour (connues sous le nom de toilettes No Mix) fonctionnent grâce à une cloison aménagée dans la cuvette, en position plus ou moins avancée ou centrale selon les modèles. Le système fonctionne généralement bien, mais il n'est pas adapté à toutes les personnes (enfants, notamment) et demande un entretien et un nettoyage importants. La dilution, indésirable, de l'urine par l'eau de rinçage a pu être atténuée grâce à un système de clapet. Toutefois, ces toilettes ne sont plus produites aujourd'hui: un nouveau système a été développé en 2019. La nouvelle cuvette «save!» (atelier de design EOOS et Laufen Bathrooms) capte l'urine séparément sans clapet en tirant profit de l'effet Coandă ou effet théière basé sur la tension superficielle. La fonction de séparation est alors quasiment invisible.

References:

- 1 Antonini, S., Paris, S., Eichert, T. and Clemens, J. (2011) Nitrogen and Phosphorus Recovery from Human Urine by Struvite Precipitation and Air Stripping in Vietnam. *CLEAN – Soil, Air, Water* 39(12), 1099-1104
- 2 Bischel, H.N., Özel Duygan, B.D., Strande, L., McArdeell, C.S., Udert, K.M. and Kohn, T. (2015) Pathogens and pharmaceuticals in source-separated urine in eThekwin, South Africa. *Water Research* 85, 57-65.
- 3 Bonvin, C., Etter, B., Udert, K.M., Frossard, E., Nanzer, S., Tamburini, F. and Oberson, A. (2015) Plant uptake of phosphorus and nitrogen recycled from synthetic source-separated urine. *Ambio* 44(Suppl. 2), S217-S227.
- 4 Clauwaert, P., Muys, M., Alloul, A., De Paepe, J., Luther, A., Sun, X., Ilgrande, C., Christiaens, M.E.R., Hu, X., Zhang, D., Lindeboom, R.E.F., Sas, B., Rabaey, K., Boon, N., Ronsse, F., Geelen, D. and Vlaeminck, S.E. (2017) Nitrogen cycling in Bioregenerative Life Support Systems: Challenges for waste refinery and food production processes. *Progress in Aerospace Sciences* 91, 87-98.
- 5 Ek, M., Bergström, R., Björhem, J.E., Björleini, B. and Hellström, D. (2006) Concentration of nutrients from urine and reject water from anaerobically digested sludge. *Water Science and Technology* 54(11-12), 437-444.
- 6 Etter, B., Tilley, E., Khadka, R. and Udert, K.M. (2011) Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. *Water Research* 45(2), 852-862.
- 7 Fumasoli, A., Etter, B., Sterkele, B., Morgenroth, E. and Udert, K.M. (2016) Operating a pilot-scale nitrification/distillation plant for complete nutrient recovery from urine. *Water Science and Technology* 73(1), 215-222.
- 8 Gounden, T., Pfaff, B., MacLeod, N. and Buckley, C. (2006) Provision of free sustainable basic sanitation: the Durban experience. 32nd WEDC Conference, Sustainable Development of Water Resources, Water Supply and Environmental Sanitation, November 2006, Colombo, Sri Lanka.
- 9 Henze, J. and Randall, D.G. (2018) Microbial induced calcium carbonate precipitation at elevated pH values (>11) using *Sporosarcina pasteurii*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(4), 5008-5013.
- 10 Höglund, C., Stenström, T.A. and Ashbolt, N. (2002) Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture. *Waste Management and Research* 20(2), 150-161.
- 11 Ieropoulos, I.A., Stinchcombe, A., Gajda, I., Forbes, S., Merino-Jimenez, I., Pasternak, G., Sanchez-Herranz, D. and Greenman, J. (2016) Pee power urinal - microbial fuel cell technology field trials in the context of sanitation. *Environmental Science: Water Research & Technology* 2(2), 336-343.
- 12 Johansson, M. (2001) Urine separation – closing the nutrient cycle. Stockholm Water Company, Stockholm, Sweden.
- 13 Larsen, T.A., Udert, K.M. and Lienert, J. (2013) Source separation and decentralization for wastewater management, IWA Publishing, London, UK.
- 14 Larsen, T.A. and Gujer, W. (1996) Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34(3-4), 87-94.
- 15 Ledezma, P., Kuntke, P., Buisman, C.J.N., Keller, J. and Freguia, S. (2015) Source-separated urine opens golden opportunities for microbial electrochemical technologies. *Trends in Biotechnology* 33(4), 214-220.
- 16 Lienert, J. and Larsen, T.A. (2007) Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals. *Water Practice & Technology* 2(3).
- 17 Lienert, J., Bürki, T. and Escher, B.I. (2007) Reducing micropollutants with source control: Substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in faeces and urine. *Water Science and Technology* 56(5), 87-96.
- 18 Meyer, G., Frossard, E., Mäder, P., Nanzer, S., Randall, D.G., Udert, K.M. and Oberson, A. (2018) Water soluble phosphate fertilizers for crops grown in calcareous soils – an outdated paradigm for recycled phosphorus fertilizers? *Plant and Soil* 424(1-2), 367-388.
- 19 Oosterhuis, M. and van Loosdrecht, M.C.M. (2009) Nitrification of urine for H₂S control in pressure sewers. *Water Practice and Technology* 4(3).
- 20 Pronk, W., Zuleeg, S., Lienert, J., Escher, B., Koller, M., Berner, A., Koch, G. and Boller, M. (2007) Pilot experiments with electrodialysis and ozonation for the production of a fertiliser from urine. *Water Science and Technology* 56(5), 219-227.
- 21 Randall, D.G., Krähenbühl, M., Köpping, I., Larsen, T.A. and Udert, K.M. (2016) A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide addition. *Water Research* 95, 361-369.
- 22 Siegrist, H., Laurenzi, M. and Udert, K.M. (2013) Transfer into the gas phase: ammonia stripping. In: *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*. Larsen, T.A., Udert, K.M. and Lienert, J. (eds), pp. 337-350, IWA Publishing, London, UK.
- 23 Troccaz, M., Niclass, Y., Anziani, P. and Starkenmann, C. (2013) The influence of thermal reaction and microbial transformation on the odour of human urine. *Flavour and Fragrance Journal* 28(4), 200-211.
- 24 Udert, K.M., Larsen, T.A., Biebow, M. and Gujer, W. (2003) Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research* 37(11), 2571-2582.
- 25 Udert, K.M., Larsen, T.A. and Gujer, W. (2006) Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology* 54(11-12), 413-420.
- 26 Unesco and Arceau IdF (2016) *Water, megacities and global change*, Unesco and Arceau IdF, Paris, France.
- 27 Wilsenach, J.A. and Van Loosdrecht, M.C.M. (2004) Effects of Separate Urine Collection on Advanced Nutrient Removal Processes. *Environmental Science and Technology* 38(4), 1208-1215.

Pour en savoir plus: www.eawag.ch/nomix

Contact:

Eawag, Pr. Kai Udert, Département Technologie des procédés, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Suisse, +41 58 765 53 60, kai.udert@eawag.ch

Ont contribué à cette fiche: Prof. Kai Udert, Carina Doll, Andri Bryner, Peter Penicka (tous Eawag), Bastian Etter (Vuna GmbH).

Adresse:

Eawag, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, Suisse, +41 58 765 55 11, info@eawag.ch, eawag.ch