

## Principaux enjeux liés à la présence de micropolluants organiques dans les urino-fertilisants (résidus pharmaceutiques, hormonaux et de soins personnels)

Anaïs Goulas, Marjolaine Deschamps, Sabine Houot, Marine Legrand, Fabien Esculier, 2020

Le projet Agrocapi ([www.leesu.fr/ocapi/les-projets/agrocapi](http://www.leesu.fr/ocapi/les-projets/agrocapi)) étudie les enjeux agricoles relatifs à l'utilisation de l'urine humaine pour en faire une matière fertilisante. Si l'urine humaine est séparée à la source et collectée, de nombreux traitements différents peuvent y être appliqués pour fabriquer ce que nous nommons des urino-fertilisants, et retourner aux terres cultivées les nutriments minéraux produits par le corps humain lors de l'excrétion. Parmi les travaux conduits dans Agrocapi, une étude est actuellement menée sur la présence de micropolluants organiques dans les urino-fertilisants et sur leur devenir dans les sols et les plantes cultivées après épandage. Trois catégories de micropolluants, qui nous paraissent les plus importantes à étudier, ont été sélectionnées : les résidus médicamenteux, les résidus hormonaux et les résidus de soins personnels. Cette note a pour objectif de présenter brièvement l'état des connaissances sur le sujet au démarrage de l'étude et les principaux enjeux auxquels cette étude tâchera d'apporter une contribution.

### 1) Pourquoi s'intéresse-t-on aux résidus pharmaceutiques, hormonaux et de soins personnels ?

Les **médicaments** que nous utilisons, par exemple antibiotiques, anti-inflammatoires, subissent différentes étapes de **pharmacocinétique** dans l'organisme. Ces étapes sont : i) l'**absorption** de la molécule, plus ou moins directe et complète selon la voie d'administration utilisée ; ii) la **distribution** dans l'organisme, iii) la **biotransformation ou métabolisme** et enfin iv) l'**excrétion**<sup>1</sup>.

La biotransformation (principalement hépatique ou intestinale) est réalisée par différents systèmes enzymatiques qui permettent la transformation du médicament en métabolites<sup>2</sup>, actifs ou inactifs dans le corps, plus faciles à excréter.

L'élimination du médicament de l'organisme est réalisée sous forme inchangée et/ou après biotransformation. **Cette étape d'excrétion se fait dans les urines le plus souvent (60-70%,**

---

<sup>1</sup> Pour plus de détails, consulter <https://pharmacomedicale.org/pharmacologie/pharmacocinetique/36-etapes-du-devenir-du-medicament>.

<sup>2</sup> Les **métabolites** désignent les nouvelles molécules produites après transformation, dans le corps, d'une substance qui a été absorbée. Ce « métabolisme », ou cette transformation, suit des voies variées en fonction des substances et il en est de même pour l'excrétion.

voie rénale) **ou dans les fèces** (voie biliaire)<sup>3</sup>. On peut ainsi retrouver dans les urines les médicaments sous forme inchangée mais aussi de métabolites.

Les **hormones** sont des substances naturelles dans nos organismes mais elles sont aussi utilisées à diverses fins médicales, par exemple en tant que contraceptif. Comme les médicaments, elles subissent une pharmacocinétique dans l'organisme et, selon les hormones, elles peuvent aussi se retrouver dans les urines sous forme inchangée et/ou de métabolites.

Les **produits de soins personnels** sont composés de différentes substances, tant pour la fabrication, la tenue et la destination du produit. Certaines substances sont considérées comme perturbateurs endocriniens et sont étudiées pour connaître leur devenir dans l'environnement et leurs impacts. Ces substances pourraient subir la même pharmacocinétique que les médicaments, c'est pourquoi nous en intégrons dans notre étude.

Les **résidus**, c'est-à-dire molécules inchangées, produits de transformation et métabolites, **issus des produits pharmaceutiques, des hormones et des produits de soins personnels**, peuvent donc être présents dans les produits à base d'urine humaine destinés à être utilisés en agriculture. Ces résidus sont considérés comme **micropolluants** lorsqu'ils se retrouvent dans l'environnement, c'est pourquoi nous nous intéressons à ces résidus, pour **mieux connaître leurs concentrations et évaluer les risques** qu'ils représentent après utilisation des produits en agriculture. D'autres types de micropolluants organiques peuvent être retrouvés dans les urines humaines mais ils ne sont pas intégrés dans cette étude.

## **2) Quelles sont les concentrations de micropolluants organiques dans un mélange d'urines humaines collectées à la source ?**

Les concentrations de micropolluants organiques dans les urines varient selon les individus, les produits qu'ils utilisent et s'ils ont pris ou non des médicaments. En conséquence, lorsque les urines de différents individus sont collectées ensemble, les micropolluants organiques sont dilués dans le mélange, ce qui peut diminuer leurs concentrations et augmenter leur diversité.

---

<sup>3</sup> Les trois principaux nutriments azote, phosphore et potassium, sont quant à eux excrétés respectivement à environ 85%, 65% et 75% dans l'urine.

Les concentrations des résidus pharmaceutiques dans les urines dépendent :

- **de la quantité consommée de médicaments.** Par exemple, on a plus de chance de trouver des résidus de paracétamol, un antalgique largement consommé ;
- **du taux d'excrétion dans l'urine.** Pour rester sur l'exemple du paracétamol, on aurait plus de chance de retrouver l'un de ses métabolites (le 4-aminophénol) que la forme inchangée car il subit un fort métabolisme hépatique ;
- **du type et de la localisation de la population** concernée pour la collecte d'urine car les types et les quantités de médicaments consommés en dépendent.
- de la **période de l'année.**

De plus, selon les systèmes de séparation à la source, il peut aussi y avoir une dilution avec l'éventuelle eau d'évacuation.

Il y a très peu d'études sur les mesures des résidus pharmaceutiques dans des urines collectées à la source ou dans les produits à base d'urines (contrairement aux eaux usées qui ont fait l'objet de nombreuses études). D'où l'intérêt de les rechercher dans le cadre du projet AGROCAPI.

Les études dans la littérature donnent surtout des concentrations estimées des résidus pharmaceutiques en se basant sur la consommation des médicaments et les taux d'excrétion urinaire<sup>4</sup>. À ce jour, il n'y a pas de réglementation sur les concentrations en résidus pharmaceutiques dans les effluents d'élevage ou les boues de station d'épuration. Des travaux sont toutefois en cours pour les intégrer dans la réglementation dans les années à venir.

### **3) Existe-t-il un moyen de réduire totalement ou en partie les micropolluants organiques ?**

Le **stockage** de l'urine pendant au moins un mois fait partie des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé pour abattre les pathogènes, en l'absence d'autre forme de traitement (OMS, 2012). Ce stockage participe *de facto* à l'abattement des micropolluants organiques. La réduction des concentrations des résidus pharmaceutiques au cours du

---

<sup>4</sup> Notons toutefois par exemple une étude qui a été effectuée en Allemagne sur des urines réelles, collectées sur des lieux publics et privés (Winker *et al.*, 2008). Sur les urines collectées, les résidus ont été détectés pour la moitié des molécules étudiées (7 sur 14) avec des concentrations variant de 1,5 µg/L pour la phénazone (anti-migraineux non utilisé en France) jusque 545 µg/L pour l'ibuprofène (anti-inflammatoire très consommé). Par contre, d'autres médicaments comme le kétoprofène (anti-inflammatoire) ou le gemfibrozil (régulateur de la lipidémie) n'ont pas été détectés (< 0,5 µg/L). La concentration plus élevée de certains médicaments peut être en lien avec leur utilisation plus fréquente.

stockage varie en fonction des molécules (très peu d'impact pour certaines molécules, plus de 90% de réduction pour d'autres).

Les urines humaines peuvent aussi subir un traitement spécifique avant utilisation au champ, qui peut permettre de réduire davantage les concentrations de certains micropolluants organiques. Par exemple, l'ajout de **charbon actif** en poudre permet de réduire entre 90 et >99% la concentration d'une dizaine de médicaments (Etter *et al.*, 2015).

Nous ne connaissons à ce jour aucun traitement, appliqué directement sur les urines ou sur les eaux usées urbaines, qui puisse à la fois conserver les nutriments et supprimer totalement les micropolluants. À partir du moment où des personnes sont médicamenteuses et où l'on cherche à recycler les nutriments humains, la question de la quantité tolérable de résidus pharmaceutiques et hormonaux apparaît donc cruciale<sup>5</sup>.

#### **4) Quels micropolluants organiques analysons-nous au laboratoire ?**

**En se basant sur les critères évoqués précédemment, nous avons dressé une liste de résidus pharmaceutiques, hormonaux et de produits de soins personnels à analyser dans les urino-fertilisants, les sols et les plantes des essais agronomiques en cours.**

Le laboratoire de chimie analytique de l'UMR EcoSys a déjà une expérience de 8 années dans l'analyse de résidus pharmaceutiques dans des échantillons environnementaux. Actuellement une liste de 35 résidus pharmaceutiques est recherchée par exemple dans des boues d'épuration, des fumiers, des lisiers, des sols recevant ces matières organiques, les eaux qui passent à travers ces sols.

**La liste étudiée actuelle est composée de 59 résidus** (molécule mère ou métabolite, pour rappel), comprenant des **résidus d'antibiotiques (28), d'anti-inflammatoires (9), de neuroleptiques (5), d'hormones (2 de synthèse, 2 d'origine naturelle), d'antiparasitaires (3), d'hypolipémiants (2), de bêta-bloquants (2), un diurétique, un corticoïde, de désinfectants ou de produits de soins personnels (3) et un marqueur d'activité anthropique (caféine).**

---

<sup>5</sup> La logique de gestion « à la source », qui conduit pour les nutriments à s'intéresser à la séparation à la source de l'urine, peut également être déclinée à la question de la prise de médicaments. La gestion à la source est d'ailleurs la position officielle française par rapport aux micropolluants (MEEM, MASS & MAAF, 2016). En s'intéressant « à la source » aux problèmes de médicaments dans les urines, les questions suivantes semblent à traiter en priorité : quelles sont les causes de maladies dans la société et comment les éviter préventivement ? Pourquoi prend-on des médicaments pour se soigner ? Pour partie, le problème des résidus pharmaceutiques dans l'urine conduit à questionner les modes de vie, les expositions environnementales aux facteurs de maladie ou encore les modes de gestion des maladies (Servan-Schreiber, 2010).

## 5) Quels sont les risques associés à la présence de micropolluants organiques dans les produits à base d'urine humaine ?

Parmi les **risques associés à la présence de micropolluants organiques après fertilisation des sols** par des produits à base d'urine humaine, on peut évoquer :

- le **transfert** des molécules **vers les eaux** de surface et souterraines ;
- des **effets écotoxicologiques** sur la macro-faune et les micro-organismes dans le sol (dont la pression de sélection et l'acquisition d'antibiorésistance) ; il est essentiel de s'intéresser aux effets mélanges ;
- le **transfert dans les plantes** cultivées (un des risques les plus évoqués par la population, avec la question des micro-organismes pathogènes).

Cependant, il faut mettre en regard de ces risques **le devenir des résidus dans le sol**. Ils peuvent subir une **dégradation** (physicochimique et/ou biologique), ainsi qu'une **adsorption** c'est-à-dire lorsque certaines molécules restent fixées de manière très forte aux constituants du sol.

La dégradation et la fixation de résidus dans le sol sont en lien avec leur **dissipation**. La dissipation peut être favorisée dans certaines conditions, par exemple, lorsque des amendements organiques sont ajoutés au sol. **La dissipation limite le transfert** des résidus pharmaceutiques vers d'autres compartiments, dont les plantes.

En ce qui concerne les produits pharmaceutiques et les hormones excrétés avec l'urine, les différents avis scientifiques divergent quant à la conduite à tenir au regard de ces risques. Selon Winker (2009), « les craintes existent et tant que ces craintes ne sont pas dissipées, il est recommandé que l'urine des personnes prenant des médicaments ne soit pas utilisée pour la fertilisation des cultures destinées à l'alimentation »<sup>6</sup>. Selon Richert *et al.* (2011), les risques d'effets négatifs pour les plantes ou la santé humaine sont considérés comme bas si l'urine est appliquée sur les terres agricoles en doses correspondant aux besoins des plantes. Ce dernier avis a été repris par **l'OMS qui ne formule pas de restriction à l'usage agricole de l'urine liée à la présence de résidus médicamenteux et hormonaux** et « suppose que les effets négatifs sur la quantité ou la qualité des produits agricoles sont négligeables » (OMS, 2012).

---

<sup>6</sup> Trad. des auteurs.

## **6) Quel est le niveau de risque pour les plantes ou la santé humaine en comparaison à d'autres produits épandus ?**

Aujourd'hui, les matières fertilisantes utilisées en agriculture sont de différents types (engrais de synthèse, engrais miniers, effluents d'élevage, boues de stations d'épuration, composts, digestats de méthanisation, etc.). Chacun comporte des risques spécifiques. Par ailleurs, les pesticides agricoles sont aussi pour la plupart des micropolluants : ceux-ci sont utilisés de façon intentionnelle et ont, par essence, une action biocide. Les risques concernant les produits fertilisants dérivés de l'urine doivent donc être mis en perspective par rapport aux concentrations des micropolluants présents dans les autres matières fertilisantes, mais aussi aux risques résultant de l'utilisation des pesticides. On s'intéressera particulièrement aux **boues de station d'épuration et aux effluents d'élevage** qui proviennent d'excréments humains et animaux et qui peuvent tous les deux contenir des résidus pharmaceutiques et hormonaux.

De plus, il faut considérer le fait que la **séparation à la source** enlève ces micropolluants de la filière du traitement de l'eau et représente un fort potentiel pour mieux isoler et gérer les micropolluants. Les traitements classiquement utilisés en station d'épuration ne sont pas dédiés au traitement des micropolluants organiques. Certains d'entre eux sont donc retrouvés dans les eaux traitées et rejetées dans les milieux naturels ; d'autres sont retrouvés dans les boues de station d'épuration qui sont, en France, majoritairement valorisées en agriculture<sup>7</sup>.

**Selon un guide suédois d'utilisation des urines en production agricole (Richert et al., 2011)**, il est possible que les micropolluants soient absorbés par les plantes et entrent de ce fait dans la chaîne alimentaire humaine si on utilise l'urine en agriculture. **Voici un risque, mais il paraît minime : une évaluation complète des effets toxiques potentiels des produits pharmaceutiques ingérés par l'homme à travers les cultures est très difficile** et n'a pas encore été effectuée. **C'est donc un des objectifs de notre travail** : étudier le devenir dans les sols et le transfert vers la chaîne alimentaire. Ce risque de contamination de la chaîne alimentaire est également à mettre en regard des autres contaminations de la chaîne alimentaire (additifs alimentaires, contenants alimentaires, ustensiles de cuisine, modes de cuisson, etc.) et des expositions par d'autres voies à des micropolluants (qualité de l'air, applications cutanées de produits, qualité de l'eau de boisson, etc.).

**Une hypothèse** est que l'utilisation d'urine directement sur le sol (plutôt qu'une gestion conventionnelle des eaux usées) pourrait permettre de diminuer les risques car les micropolluants organiques des urines pourraient mieux se dégrader dans les couches de sol

---

<sup>7</sup> Les boues de station d'épuration ne captent toutefois qu'une faible proportion des nutriments. A Paris, par exemple, les taux de recyclage de l'azote, du phosphore et du potassium humain sont respectivement de 4%, 41% et 2% (Esculier et al., 2018).

aérobies<sup>8</sup> biologiquement actives, grâce à la forte concentration de micro-organismes, avec de plus longs temps de séjour que dans les masses d'eau dont l'écosystème est en outre, beaucoup plus sensible (Richert *et al.*, 2011). Pour le moment, la littérature est limitée sur le sujet.

## Bibliographie

Esculier, F., Le Noë, J., Barles, S., Billen, G., Créno, B., Garnier, J., Lesavre, J., Petit L. et Tabuchi, J.-P. 2018 *The biogeochemical imprint of human metabolism in Paris Megacity: a regionalized analysis of a water-agro-food system*. Journal of Hydrology. Sous presse. DOI : 10.1016/j.jhydrol.2018.02.043.

Etter, B., Udert, K.M., Gounden, T. (editors). VUNA Final Project Report 2015. Valorisation of Urine Nutrients. Promoting Sanitation & Nutrient Recovery through Urine Separation. Eawag, Dübendorf, Switzerland

MEEM, MASS & MAAF, 2016. Plan micropolluants 2016-2021 pour préserver la qualité des eaux et de la biodiversité. MEEM (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer), MASS (Ministère des Affaires Sociales et de la Santé), MAAF (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt). Éd. MEEM.

OMS, 2012. *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Vol. IV Utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture* Éd. OMS. Genève. ISBN 978 92 4 254685 9

Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T.-A., Dagerskog, L., 2011. *Conseils Pratiques pour une Utilisation de l'Urine en Production Agricole*. Stockholm Environment Institute, EcoSanRes Series, 2011-3.

Servan-Schreiber, D. 2010. *Anticancer. Les gestes quotidiens pour la santé du corps et de l'esprit*. Ed. Robert Laffont. Paris. 1<sup>e</sup> éd. 2007.

Winker, M., Tettenborn, F., Faika, D., Gulyas, H., Otterpohl, R., 2008. Comparison of analytical and theoretical pharmaceutical concentrations in human urine in Germany. *Water Research* 42, 3633-3640.

Winker, M. 2009. *Pharmaceutical residues in urine and potential risks related to usage as fertilizer in agriculture*. Thèse de doctorat. Technische Universität Hamburg-Harburg. Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz

---

<sup>8</sup> En présence d'oxygène