

» ASSAINISSEMENT CIRCULAIRE

Valoriser l'urine aux champs : un défrichage actif

Plus malin que faire pipi sous la douche : débrancher le tuyau qui mène à l'usine d'épuration l'urine et son lot d'azote et de phosphore, pour orienter ces nutriments vers les cultures. Soit un bouclage millénaire qu'a éclipsé le tout-à-l'égout. Sa réactivation n'occupe encore qu'un petit coin mais les expérimentations fourmillent et convainquent. Le préalable au changement d'échelle.

L'homme moderne urinerait-il idiot ? À chaque soulagement de vessie, il actionne une chasse d'eau évacuant la miction et ses précieux minéraux vers la station d'épuration, qui s'emploie à en éliminer l'azote et le phosphore, massivement importés par l'agriculture sous forme synthétique. Un litre d'urine contient 6 grammes d'azote, 2 de potassium et 1 de phosphore. Au rythme de 1,5 litre par jour, chacun produit de quoi fertiliser 500 m² durant un an, font valoir les chercheurs du programme Ocapï (optimisation des cycles carbone, azote et phosphore en ville¹).

L'urine en usine est un gâchis de ressource qui, de plus, crame de l'énergie : « *En amont, produire des engrais azotés à partir de méthane absorbe environ 2 % de la consommation mondiale d'énergie. En bout de chaîne, l'épuration élimine l'azote à grand renfort d'énergie et de réactifs* », pointe Louis Gaucher, chef de projets construction et ville durable de l'Établissement public d'aménagement de Paris-Saclay. À l'échelle du globe, l'azote rejeté dans l'environnement par les activités humaines excède d'environ 50 % la limite planétaire, assurant la préservation de l'eau et de l'air. Le cycle du phosphore n'est pas loin de franchir ce seuil et le pic d'extraction de roches phosphatées, concentrées à 70 % au Maroc, est projeté vers 2030. Un tableau qui incite à envisager des alternatives ou, plutôt, à renouveler des pratiques vieilles comme le monde.

Cela ne fait que cent cinquante ans que la ligne droite tuyau-bassins d'épuration détourne les excréta humains de leur ancestrale circularité. A l'heure du tri des biodéchets - eux aussi compostés durant des siècles -, isoler l'urine rejoindrait cette logique de retour au sol. Dans les années 1990, la collecte séparée de l'urine est mise au goût du jour en Suède et au Danemark au sein d'écovillages. L'Institut fédéral suisse des sciences et technologies aquatiques la teste depuis une décennie à l'échelle de bâtiments. Le siège parisien de l'Agence spatiale européenne expérimente la production d'en-

A partir de deux cuves de 150 litres, l'urine fournie par les habitants de Châtillon est pompée vers le camion de l'agriculteur de l'Amap.



©Ocapï

grais issu d'urine⁽²⁾, à partir du procédé de la société suisse VunaNexus, « *pour que les astronautes se nourrissent d'aliments produits in situ lors des missions de longue durée* », explique Louis Gaucher.

Valoriser l'urine s'envisage avant tout sur la terre ferme. Si l'habitat participatif a été pionnier en France, les collectivités embrayent. Elles équipent par exemple des bâtiments scolaires, neufs (école de Saint-Germé, Gers, 2012) ou existants (centre de loisirs à Rosny-sous-Bois, Seine-Saint-Denis, 2020), de toilettes sèches, devenues familières dans les festivals. « *Au moins trois gros fabricants proposent des*



©Chambre d'agriculture IDF

urinoirs secs féminins, l'équivalent masculin étant monnaie courante, note Benjamin Morisset, directeur opérationnel de Toopi Organics. *Et l'offre s'étoffe pour les toilettes séparatives*, collectant l'urine à l'avant de la cuvette. La ville de Paris s'apprête à généraliser ces WC trieurs de flux solides et liquides sur l'écoquartier Saint-Vincent-de-Paul (lire p.24). Où les messieurs devront se faire à la position assise et les unes et les autres à l'entretien à l'acide citrique et au vinaigre blanc, évinçant javel et bicarbonate de soude qui altèreraient le milieu vivant qu'est l'urine. Encouragée par l'agence de l'eau Seine-Normandie, la séparation à la source figure au Schéma directeur environnemental d'Ile-de-France de 2023, ouvrant la voie « à son inscription dans les schémas de cohérence territoriale puis dans les plans locaux d'urbanisme », suggère le Groupe régional d'expertise sur le changement climatique. Au niveau national, Louise Raguét repère « au moins un projet en réflexion ou à l'étude par métropole ». Membre de l'équipe d'Ocapi, la chercheuse en biologie pilote la première collecte en apport volontaire, engagée en septembre 2024 à Châtillon (Hauts-de-

Seine). « Enville » réunit 25 participants et une association pour le maintien de l'agriculture paysanne (Amap) : on récupère son panier et on dépose son bidon. Également designeuse, Louise Raguét a conçu des « urinettes » ou entonnoirs facilitant le recueil de ce qui deviendra le lisain (lisain humain) revenant à l'agriculteur du Loiret qui fournit les fruits et légumes. Les « Amapipiens » livrent « environ 350 litres par mois, de quoi fertiliser 150 m² », évalue-t-elle.

À Angers (Maine-et-Loire), Label verte déploie un schéma similaire à l'écoquartier des Hauts prés, où huit foyers sont dotés de toilettes séparatives sans eau (marque Trobolo). Une voie d'approvisionnement de la « pipinière », que dessert déjà le site de coworking hébergeant la structure d'économie sociale et solidaire. Quatre toilettes à séparation (modèles masculin de Laufen et féminin de Wostman) et un urinoir sec masculin (Clivus) captent l'urine de la vingtaine de salariés. « En quatre mois ont été économisés 20 000 litres d'eau potable, chiffre Nicolas Audigane, responsable du développement. La chasse d'eau, c'est 20 % de la consommation d'un ménage et 80 % de celle d'une entreprise.

Saint-Vincent-de-Paul : 14 litres par jour d'engrais concentré

A partir de 2028, on urinera séparément dans l'intégralité des 600 logements, équipements publics (école, crèche, gymnase) et commerces de l'écoquartier Saint-Vincent-de-Paul (Paris, 14^{ème}). « Quitte à tester, autant impliquer divers usages », commente Julie Ginesty, de Paris & Métropole Aménagement. Les 600 m de réseau reliant les toilettes séparatives à la cuve de stockage et l'unité de traitement se chiffrent à 1 M€. Une goutte d'eau dans un programme de 60 000 m² de surface de plancher, d'autant que l'agence de l'eau Seine Normandie cofinance l'innovation. « Celle-ci n'est pas technique : il

s'agit de plomberie courante, banalise la responsable ville durable de la société publique locale. Réaliser des travaux classiques et maîtrisés est une forme de sobriété. » La rupture réside dans la déconnexion partielle du réseau d'assainissement d'un quartier « post-carbone » de 3,4 ha - une échelle que dépassera dans une décennie le plateau de Saclay.

Par gravité ou refoulement, « l'or jaune » s'écoulera vers la microcentrale, qui le transformera selon le procédé de la société suisse VunaNexus : nitrification stabilisant l'urine, filtration au charbon actif éliminant les résidus médicamenteux et hormonaux, distillation réduisant le volume et supprimant les pathogènes. « Les quelque 2 000 L/j d'urine produiront 14 litres d'engrais liquide concentré (Aurin) pour les espaces verts parisiens. » Par



© Sergio Grazia - Anycell Bellando

La reconversion de l'ancien hôpital doit déboucher sur un quartier mixte, « démonstrateur de la ville durable ».

rapport au parcours linéaire vers la station d'épuration via le tout-à-l'égout et à la production d'engrais de synthèse, ce recyclage allègera de 65 % le bilan carbone, évalue le Centre scientifique et technique du bâtiment.



©Label verte

L'urine collectée auprès de Label verte et des entreprises voisines est stockée dans le local vélos.

Déconnecter du réseau les toilettes masculines devrait être la première mesure RSE. » Après greffage au projet d'un établissement recevant du public, l'urine brute alimentera des pépinières du département. *« Les tests menés à l'été 2024 par le laboratoire de recherche Astredhor montrent que salade, basilic, géranium, hortensia réagissent bien à ce fertilisant, au rôle comparable à celui des engrais minéraux de*

synthèse. Chanvre et quinoa, cultivés en Anjou, s'y prêtent également. »

L'efficacité agronomique de l'urine est « quasi-équivalentes » à celle des engrais chimiques, confirme Tanguy Fardet, post-doctorant sur les écosystèmes agro-alimentaires circulaires au sein d'Ocapi. Les 12 millions de Franciliens satisferaient l'intégralité des besoins de l'agriculture régionale en azote et la moitié de ceux en phosphore, selon le programme Ocapi. Sur l'agglomération toulousaine, Solagro identifie un gisement « du même ordre de grandeur que les besoins en engrais » du territoire (projet TeValU, territoire valorisant les urines, Institut national des sciences appliquées). À l'échelle nationale, environ 20 % des fertilisants minéraux pourraient être remplacés par des excréta humains (urine principalement), à pratiques agricoles et alimentaires inchangées. Une réorientation agroécologique et un régime moins carné, réduisant les cultures d'aliments pour le bétail, permettraient à terme « de se passer totalement des engrais minéraux azotés et phosphatés »⁽³⁾.

Évoluer d'un engrais chimique concentré à de l'urine brute volumineuse requiert certes un matériel spécifique. Mais « les maraichers sont outillés pour faire de la fertirrigation sans coût additionnel, observe

Paris-Saclay valorisera à l'échelle d'une ZAC

En fin d'année seront épanchés les premiers litres d'urine sur de grandes cultures à Palaiseau (Essonne). Au sein du cluster scientifique et technologique de Paris-Saclay, l'immeuble de bureaux Next compte dix urinoirs masculins secs, recueillant un liquide filtré au charbon actif pour en neutraliser pathogènes et résidus pharmaceutiques. Depuis la cuve de 10 m³, l'agriculteur voisin remplira deux fois par an sa tonne à lisier. La Chambre régionale d'agriculture, l'Inrae et

l'association Terre&Cité suivront les essais de fertilisation à l'urine brute. L'opération projetée en 2035-2040 aura une autre envergure : sur la ZAC de Corbeville et une partie de celle de Moulon, l'Etablissement public d'aménagement (EPA) prescrit aux constructeurs la pose de toilettes séparatives pour les 400 000 m² d'habitat et d'activités tertiaires et « techtaires » (20 000 résidents et usagers). L'« urinoduc » de près 5 km, « gravitaire autant que possible et avec des portions sous pression, collectera quelque 9 000 m³/an d'urine, transformée en 650 m³ d'engrais », décrit Louis Gaucher, chef de projets construction et ville durable. Le réseau est chiffré à 0,7 M€ et la sta-

tion de traitement à 7 M€. « On n'invente pas la poudre, on s'inspire de Saint-Vincent-de-Paul » : soit une nitrification limitant les odeurs et la volatilisation de l'azote, puis un traitement par charbon actif et une concentration par distillation. Si abatte les résidus médicamenteux, « déjà présents dans le milieu naturel », ne s'impose pas au vu du bilan des premières expérimentations, l'EPA choisit le recours au charbon actif, gage de confiance auprès des utilisateurs. Le produit, que l'hygiénisation rapproche de l'Aurin de VunaNexus, sera vendu « à isocoût par rapport aux engrais azotés de synthèse. Pour un bien moindre coût environnemental : le gain en CO₂ avoisinera 50 % ».

Tanguy Fardet. *Les agriculteurs équipés pour épandre du lisier, des boues d'épuration ou des digestats de méthaniseur peuvent aussi utiliser l'urine.* » D'autant que celle-ci n'est qu'un substitut partiel, couvrant « environ un tiers des besoins en fertilisants », relativise Louise Raguet. À priori exempte de pathogènes, l'urine peut être contaminée par la matière fécale. L'Organisation mondiale de la santé recommande donc de l'hygiéniser par un stockage hermétique d'un à six mois avant épandage, selon le type de cultures. L'urine est en revanche susceptible de contenir des résidus de médicaments, principalement évacués par les reins. Une étude danoise sur des sols urino-fertilisés depuis 2003 montre toutefois une très faible accumulation ⁽⁴⁾. « On peut par précaution filtrer au charbon actif, très efficace sur la majorité des micropolluants », assure Tanguy Fardet. Les résidus médicamenteux sont par ailleurs présents dans les matières fertilisantes couramment épandues que sont les lisiers, fumiers et boues de stations d'épuration (Step). « Les

Step gèrent assez mal les micropolluants, notamment pharmaceutiques, poursuit le physicien et chimiste. Ces derniers sont mieux dégradés dans le sol, par l'oxygène et les microorganismes, que dans l'eau ». L'outil épuratoire serait grandement soulagé par la séparation à la source de l'urine, qui n'occupe que 1 % des volumes d'eaux usées mais concentre 70 à 80 % de l'azote et 50 % du phosphore à traiter. En Ile-de-France, le parc de Step renvoie vers la Seine un tiers de l'azote entrant, soit l'équivalent des rejets de 4 millions d'habitants, estime Ocap. Or la directive révisée sur les eaux résiduaires urbaines de décembre 2024 rehausse les exigences sur le traitement du phosphore et de l'azote. Et la capacité de dilution du fleuve ira décroissant, son débit estival devant baisser de 10 à 30 % d'ici 2050. « En Ile-de-France et ailleurs, nombre de cours d'eau sont associés à une population trop importante pour que les Step y rejettent une eau de qualité acceptable, souligne Tanguy Fardet. Dans maints endroits, seule la séparation à la source maintiendra une

Toopi Organics : « La bascule est rapide »

« Prospector est aisé, admet Benjamin Morisset, directeur des opérations de Toopi Organics. *La sympathie histoire de recyclage, qui peut d'abord faire sourire, rend attentif quand on aborde les externalités positives. L'auditoire bascule en cinq minutes : on veut tester. Le couperet se joue dans les champs. Et on repasse commande.* » En Belgique, où la PME girondine vient d'ouvrir une filiale, est observé « un gain de 11 % sur le rendement en sucre des betteraves ». Deux biostimulants urino-sourcés sont homologués depuis 2022, pour les grandes cultures (Lactopistart) et les cultures pérennes (Lactiplus). L'autorisation de mise sur le marché d'un produit pour maraîchage et pépinières est attendue au printemps. L'urine est utilisée comme milieu de culture pour bactéries (*lactobacillus paracasei*), qui solu-



Prélèvement d'urine fermentée, dont est issu le Lactopi Start.

bilisent le phosphore présent dans les sols, « bourrés d'engrais chimiques », et captent l'azote atmosphérique. « Sans changer sa façon de travailler, l'agriculteur dilue puis épand ce stimulant racinaire, qui rend les minéraux disponibles pour les plantes. Substituer le Lactopistart à 50 % des engrais de synthèse allège de 37 % le bilan carbone ⁽¹⁾, évitant environ 70 kg CO₂/ha/an. » Les

volets acidification des sols et biodiversité sont aussi améliorés.

Deux circuits approvisionnent le site de Loupiac-de-la-Réole : les toilettes sèches pour événementiel (70 % du volume) et les bâtiments (30 %). Les premières, que collectent Enygea, Un petit coin de paradis et Van Overbeek, drainent en masse mais « à 80 % en été. La Fête de l'Humanité, c'est 50 000 litres d'un coup ». Equilibrer les deux sources lissera les apports. Si de récents édifices (Wiki Village Factory (Paris 20^{ème}), lycée de Créon) intègrent des toilettes séparatives, le Futuroscope et une vingtaine d'aires d'autoroutes (Vinci) ont modifié leur réseau sanitaire.

La future usine belge se calquera sur l'unité « mère », qui produit 800 m³/an de biostimulants. La start-up vise 5 M de litres distribués en Europe en 2029, dix ans après sa création.

(1) en intégrant la collecte et la transformation de l'urine et la production évitée d'engrais chimiques.



L'offre de toilettes séparatives et d'urinoirs secs est de plus en plus étoffée.

qualité convenable du milieu. Investir lourdement pour améliorer le rendement par des solutions énergivores serait économiquement intenable. voire techniquement irréaliste : dans certains cas, ne pas asphyxier le cours d'eau exigerait d'abattre 99 % du phosphore et de l'azote, ce qui est inaccessible. » Dans un schéma simple d'épandage d'urine brute après stockage, Ocapa avance une division par 8 de l'eutrophisation des cours d'eau et par 3,5 des émissions de gaz à effet de serre.

Reste à résoudre l'ardue équation économique : les gains liés à la séparation à la source se font hors des champs, où l'emploi d'urinofertilisants est plus chronophage et donc plus coûteux que celui d'engrais chimiques. « Le système 'zéro euro rendu racine' appliqué aux boues d'épuration pourrait être transposé à l'urine, esquisse Louise Raguét. Soit un transport et un épandage assumés par le service public local d'assainissement. » Les partenaires du programme européen P2Green invitent à taxer les nutriments non recyclés. Le principe pollueur-payeur justifierait par ailleurs une fiscalité accrue sur les engrais chimiques, « qui ne sont pas assez chers pour que l'urine soit intéressante en grande culture », relève Tanguy Fardet. Ils sont si abordables que la France a augmenté de 86 % ses imports d'engrais azotés de Russie de 2021 à 2023.

La sortie du statut de déchet de l'urine faciliterait sa valorisation. Qui s'avère

néanmoins possible, malgré le vide juridique sur ce fertilisant naturel. « La loi sur l'eau permet un épandage sous statut de déchet (rubrique 2.1.4.0), soumis à déclaration au-delà d'une tonne d'azote par an et à autorisation au-delà de 10 tonnes par an », détaille Louise Raguét. Des seuils que ne dépassent pas les opérations que supervise Ocapa.

L'enjeu réglementaire est crucial pour l'agriculture biologique (AB), qui exclut les engrais de synthèse et dépend largement des matières fertilisantes animales, de moins en moins accessibles au fil du déclin de l'élevage. Ambiguës au sujet de l'urine humaine, les annexes du règlement européen listant les produits admis en AB sont actualisées chaque année. Fin 2024, le conseil d'administration de la Fédération nationale de l'AB s'est exprimé en faveur d'une autorisation explicite. L'agriculteur bio du Loiret qui récupère l'urine à Châtillon la réserve pour l'instant à son potager personnel et aux arbres et haies de la propriété. Et stocke la majorité des volumes, dans l'attente du déverrouillage réglementaire qui lui permettrait d'enrichir des sols très pauvres. Des collègues d'autres régions se sont vu opposer un veto de la direction régionale de l'alimentation, l'agriculture et la forêt ou de leur organisme certificateur. Une position qui évolue, constate Louise Raguét. « Au cas par cas, l'urine humaine peut être assimilée à l'urine animale. Ceux qui la disqualifient aujourd'hui pourraient la valider l'an prochain ». Des essais menés discrètement sur des parcelles en AB montrent de bons résultats sur les légumes feuilles et le blé dur, qui gagne en poids et en taux de protéine.

Laurence Madouy

(1) Programme de recherche-action créé en 2014 par le Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains de l'École nationale des Ponts et chaussées. .

(2) L'Aurin est homologué en France depuis mi-2024 et en Suisse depuis 2018.

(3) Arceau Ile-de-France, *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France*, 2021.

(4) Terre&Cité, *Valorisation des urines humaines en agriculture sur le Plateau de Saclay*, 2022.