

La séparation à la source des urines et matières fécales humaines : produire des fertilisants renouvelables et protéger la ressource en eau

A l'occasion des 10 ans d'existence du programme de recherche-action Ocap, cette exposition présente la séparation à la source des urines et matières fécales humaines à travers les activités du programme.

Ocap est porté par le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) à l'École nationale des ponts et chaussées. Il est soutenu en particulier par l'Agence de l'Eau Seine Normandie et l'ADEME. Depuis 2014, le programme Ocap a noué de nombreux partenariats scientifiques, techniques et financiers.

Équipe Ocap - Membres du LEESU:
Fabien Esculier, Marine Legrand, Claire Benveniste, Bernard de Gouvello, Aurélie Joveniaux, Louise Raguet, Loïc Déchaseaux, Florent Brun, Léana Msika, Corentin Eschenbrenner, Anaïs Tondeur, Camille Mesnil, Barbara Redlingshöfer, Bruno Tassin, Emmanuel Adler, Etienne Dufour, Julien Le Roux, Tanguy Fardet, Océane SIPAN, Antigone Doron-Sornin.

Membres associés:
Benoit Schmaltz (CERC RID, Univ. Jean Monnet - Saint-Etienne), Bilel Afrit (AESN), Christine Aubry (SADAPT, INRAE), Florent Levavasseur (ECOSYS, INRAE), Gilles Billen (METIS, CNRS), Jean-Pierre Tabuchi (SIAAP, en retraite), Jérôme Santolini (I2BC, CEA), Josette Garnier (METIS, CNRS), Julia Le Noë (IEES Paris, IRD), Mathieu Maguet (IEES Paris), Manuel Pruvost-Bouvattier (Institut Paris Région), Marjolaine Deschamps (ECOSYS, INRAE), Sabine Barles (Géocités, Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne), Sabine Houot (retraitée, ECOSYS, INRAE), Thomas Starck (AP-HP).

Retrouvez toutes nos publications sur le site du programme Ocap :
<https://www.leesu.fr/ocapi/bibliotheque/>

Contact :
ocapi@enpc.fr
Plus d'infos sur : <https://www.leesu.fr/ocapi/>
Suivez toutes les actualités du programme Ocap en vous inscrivant à l'infocapi et vous abonnant sur les réseaux sociaux :
LinkedIn | Instagram | Mastodon (Fédivers) | Peertube | Youtube

Date : septembre 2025

Crédits :
Images et photographies : si non précisé le crédit est Ocap
Graphisme et mise en page : Chloé Adelheim



Équipe scientifique:



Partenaires scientifiques:



Partenaires financiers et techniques:



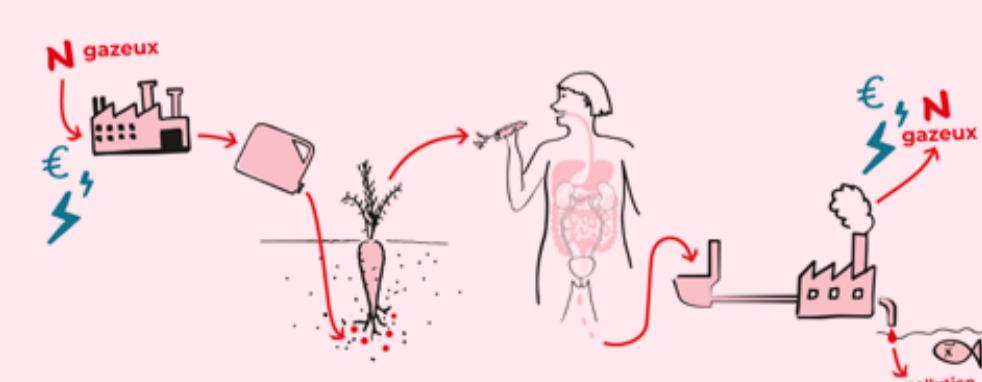
La séparation à la source

Jusqu'au XXe siècle, les urines et matières fécales humaines - nommées excrétaux humains - ont largement été employées comme matières fertilisantes agricoles en France. Ce n'est que très récemment, avec la généralisation de l'usage des engrains de synthèse et miniers et de l'adduction d'eau à domicile, que ces matières ont été gérées, par la toilette à chasse d'eau et le tout-à-l'égout, comme une pollution des milieux aquatiques à éliminer. Pourtant l'alimentation et l'excrétion font système : on retrouve la quasi-intégralité des nutriments ingérés dans nos excrétaux et ceux-ci peuvent être utilisés comme matière fertilisante en agriculture. Comment cette circularité peut-elle être (re)mise en place aujourd'hui ?

Le système alimentation/excrétion actuel est linéaire, polluant et énergivore

L'alimentation et l'excrétion sont liées par un flux de nutriments (azote (N), phosphore (P), potassium (K), etc.) qui part des sols agricoles, traverse notre corps sous forme d'aliments et en ressort par l'excrétion dans nos urines et matières fécales. Dans le système actuel, les nutriments des sols agricoles, indispensables aux plantes, sont majoritairement des engrais d'origine fossile et pétrochimique, tandis que l'évacuation de nos excrétaux requiert beaucoup d'eau. Une fois dans les eaux usées, les nutriments de nos excrétaux sont partiellement détruits en station de traitement et partiellement rejetés en rivière où ils deviennent une pollution. Le retour au sol des nutriments par l'épandage des boues de stations est minoritaire (en moyenne 10% pour l'azote en France).

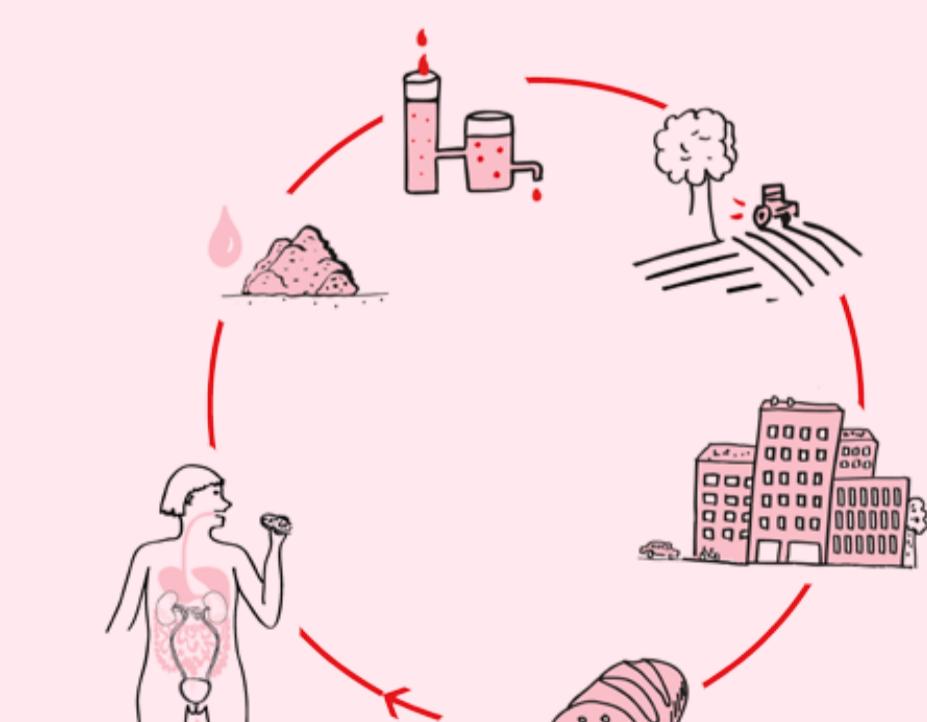
À l'amont et à l'aval, ce système induit de fortes consommations d'énergie et des émissions importantes vers l'environnement (polluants de l'eau, gaz à effet de serre, etc.).



Le système alimentation-excrétion actuel est linéaire, polluant et non sobre. Il consomme autant d'énergie pour produire 1kg d'azote de synthèse que pour détruire 1kg d'azote issu de notre urine.

Vers un système alimentation/excrétion circulaire grâce à la séparation à la source des excrétaux

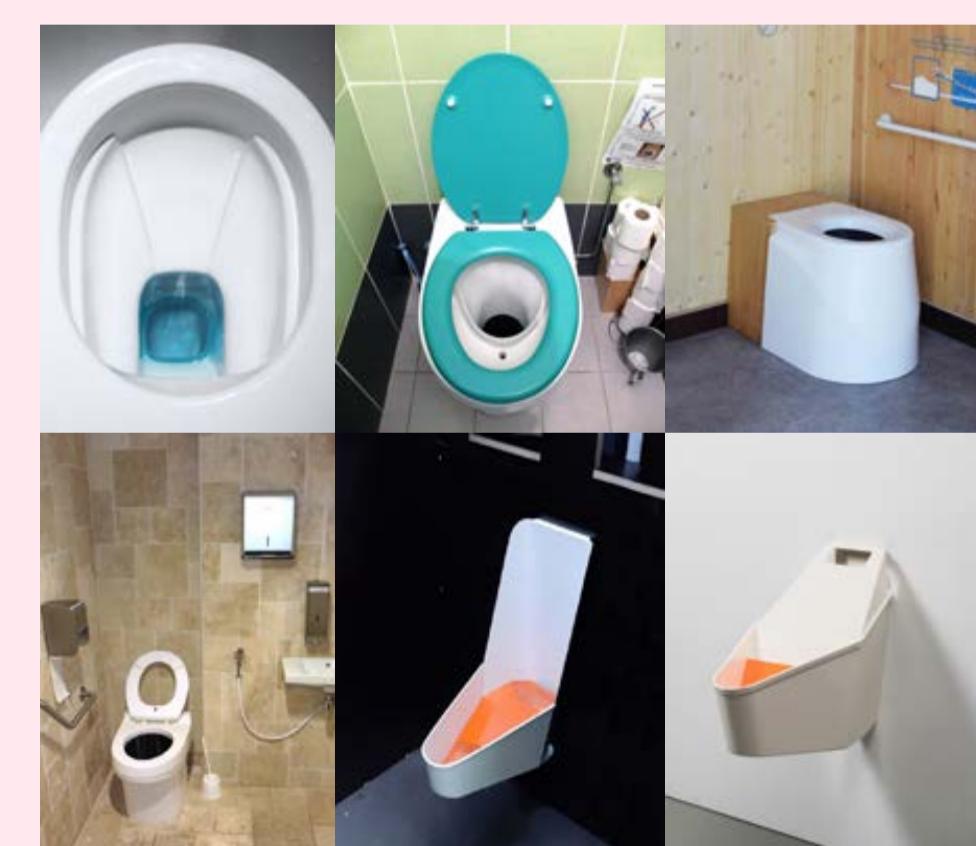
Nos excrétaux peuvent être transformés en fertilisants agricoles, en particulier l'urine par laquelle le corps excrète la majorité des nutriments. Dans l'urine humaine, les nutriments sont présents sous une forme directement assimilable par les plantes, ce qui en fait un très bon engrais. De plus, l'urine est très peu vectrice de maladies, ce qui facilite sa transformation en engrais. Les matières fécales peuvent être hygiénisées par exemple par compostage et sont alors source de matière organique pour les sols agricoles.



Système alimentation-excrétion circulaire grâce à la séparation à la source des excrétaux.

La collecte des excrétaux pour leur valorisation agricole

La séparation à la source des excrétaux repose sur la collecte des urines et/ou matières fécales, plutôt que leur mélange aux eaux usées. Plusieurs dispositifs permettent sa mise en œuvre : urinoirs sans eau (masculins, féminins ou unisexes), toilettes sèches unitaires, toilettes à séparation d'urine, etc. Il existe une grande diversité de systèmes, adaptés à chaque contexte d'installation : habitat collectif ou individuel, bâtiment de bureaux, toilettes mobiles événementielles ou toilettes dans l'espace urbain... Certains systèmes sont « invisibles » pour les usagers tandis que d'autres requièrent un apprentissage.



De gauche à droite : toilette à séparation d'urine à chasse d'eau (C. Laufen), toilette sèche à séparation d'urine dans une maison individuelle (C. Louise Raguet), toilette sèche à tapis roulant (C. Ecodoméo), toilette sèche unitaire dans un bâtiment de bureaux à Paris (C. Fabien Esculier), urinoir sans eau unisex (C. Tribu Architecture), urinoir sans eau féminin (C. Véronique Huyghe).

La transformation des excrétaux en fertilisants agricoles

Une fois collectés à la source, les excrétaux peuvent être transformés en fertilisants agricoles. Les traitements permettent par exemple d'hygiéniser les matières, de contrôler les odeurs, de concentrer ou d'extraire les nutriments, de filtrer les micropolluants, etc. Il existe une grande diversité de procédés, certains plutôt simples de mise en œuvre (stockage ou compostage) et d'autres plus complexes. Chaque procédé débouche sur un fertilisant spécifique, qui peut être solide ou liquide, et peut présenter des compositions variées.



Traitements de l'urine par nitrification (1), filtration (2) et distillation (3) pour concentrer les nutriments présents dans l'urine humaine et obtenir un fertilisant sans odeurs, appelé Aurin. Installation au siège de l'Agence Spatiale Européenne par VunaNexus (C. ESA).

Le transport et l'utilisation agricole des excrétaux humains

Pour développer une filière complète de valorisation des excrétaux humains, il convient aussi de les transporter et les épandre au champ. Les contraintes de transport et d'utilisation influencent l'ensemble de la filière : en effet, le choix des matières à collecter et de leur transformation sont eux-mêmes conditionnés par la logistique de valorisation agricole. Réciproquement, la mise à disposition des ressources contenues dans les excrétaux peut participer à transformer les pratiques agricoles comme les pratiques d'aménagement urbain. La séparation à la source contribue ainsi à une transformation systémique des territoires et des pratiques.



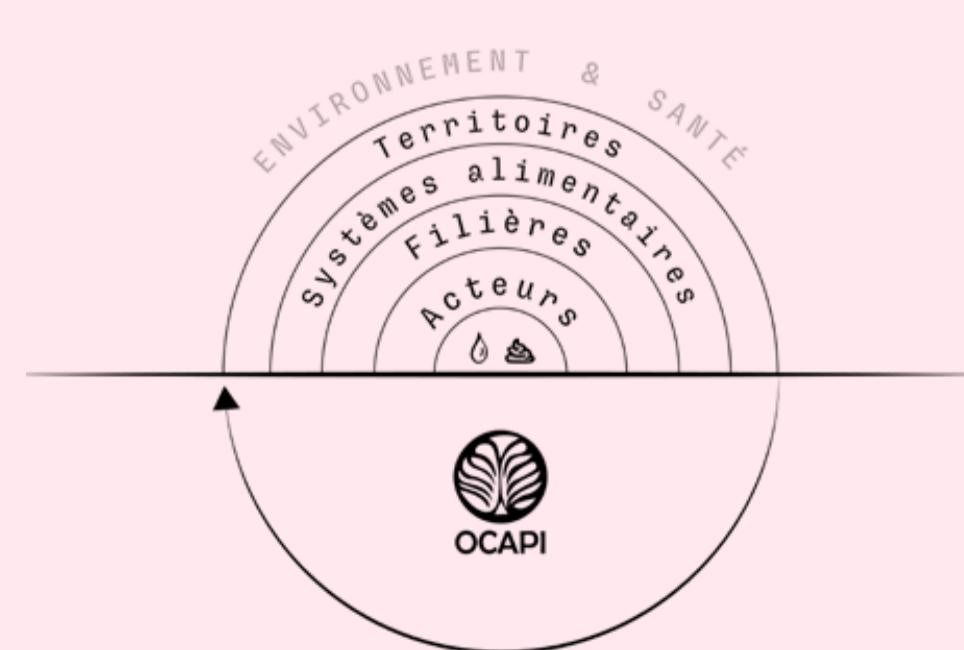
Approvisionnement en lisain (=urine humaine hygiénisée par stockage) pour un épandage sur blé (2022). Crédit Terre&Cité.

Le programme OCAPI

Lancé en 2014, OCAPI est un programme de recherche-action publique sur les systèmes alimentation/excrétion et la gestion des excréts humains. Il s'intéresse aux cycles biogéochimiques dans les territoires et en particulier aux flux de nutriments issus des excréptions humaines. OCAPI participe à réouvrir le débat sur les modalités de gestion des urines et matières fécales humaines et les multiples possibilités de gestion alternatives au tout-à-l'égout, communément appelées « séparation à la source ». Le programme est porté par le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) à l'École nationale des ponts et chaussées, et soutenu en particulier par l'Agence de l'Eau Seine Normandie et l'ADEME.

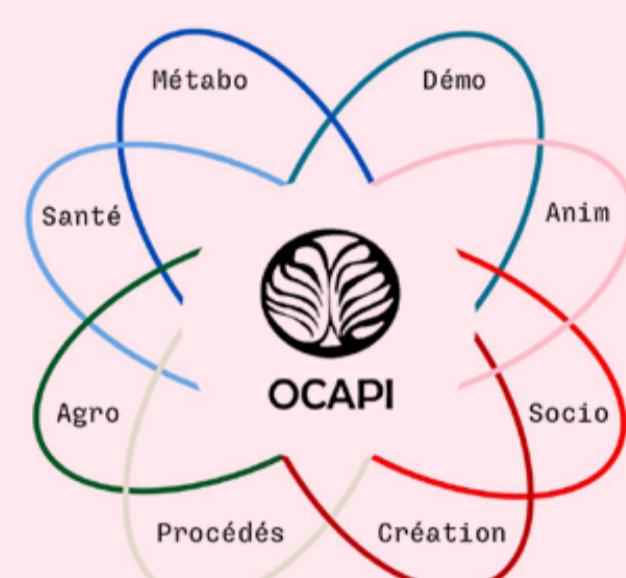
Une approche systémique et interdisciplinaire

La séparation à la source des excréts pour leur valorisation agricole fait face à un important verrouillage socio-technique : malgré ses nombreux avantages, sa diffusion est freinée par l'organisation du système en place (réglementation, modèles économiques, connaissances des acteurs, représentations, investissements passés, etc.). Il convient donc d'aborder le sujet en tenant compte de l'ensemble des dimensions en jeu. C'est pourquoi les recherches menées au sein du programme OCAPI suivent une démarche systémique, étudiant de concert les différentes échelles et dimensions convoquées par le sujet de la séparation à la source : questions techniques, logistiques, agronomiques, politiques, économiques, culturelles se croisent ; de multiples acteurs et savoirs demandent à se rencontrer pour contribuer aux transformations en cours.



Le programme OCAPI, une approche systémique de la séparation à la source des excréts.

Face à un sujet complexe qui comporte de nombreuses facettes, les recherches menées se déclinent selon 8 axes qui dialoguent étroitement entre eux : métabolisme, agricultures, dynamiques sociales, santé, procédés, démonstrateurs, animation, création artistique (voir les autres panneaux).



Une approche interdisciplinaire, les 8 axes de recherche-action du programme OCAPI



Préparation d'un épandage au lisain (=urine humaine hygiénisée par stockage) sur le plateau de Saclay.

Un programme de recherche tourné vers l'action

Le programme OCAPI est de facto devenu centre de ressources national sur la séparation à la source. Sa démarche est celle d'une recherche-action impliquée, visant à éclairer et favoriser la montée en compétences des acteurs – principalement publics – qui s'engagent dans une transformation de nos modes de gestion des urines et matières fécales humaines vers la sobriété, la circularité, la préservation des ressources en eau et des milieux aquatiques et une gestion en bien commun.



Présentation d'un outil de fertilisation au lisain, conçu par un membre de l'équipe, sur une ferme partenaire.



Équipe OCAPI mobilisée pour la production de biscuits à partir de la farine de blé cultivé avec des urinofertilisants.

Historique du programme de recherche

La première phase du programme OCAPI (2015-2018), principalement portée par Fabien Esculier et le comité de pilotage OCAPI, se concentrait sur la (non-)soutenabilité des systèmes alimentation/excrétion des villes occidentales, la transition vers des régimes circulaires et l'accompagnement de projets franciliens.

En 2018, l'équipe s'agrandit et les recherches et actions sont structurées autour de 5 axes : métabolisme, agricultures, dynamiques sociales, démonstrateurs et animation. Une série de publications académiques et en direction des acteurs de terrain en découle, ainsi que la création du groupe de travail Séparation à la source au sein de l'association ARCEAU IDF.

Depuis, l'équipe et les productions se sont largement étoffées, avec un focus sur les retours d'expérience, ainsi que trois nouveaux axes : santé, procédés et création.

Pour en savoir plus

www.leesu.fr/ocapi

Contact : ocapi@enpc.fr

Adresse :
École nationale des ponts et chaussées,
Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU),
6-8 avenue Blaise Pascal,
77420 Champs-sur-Marne



Avec le soutien de :



Animation

L'axe «Animation» du programme OCAPI vise à sensibiliser, accompagner et favoriser la montée en compétences des acteurs - principalement publics - de la séparation à la source des excréts humains en France, dans une démarche de recherche-action impliquée. Il s'agit de répertorier les projets et recherches existants sur la thématique, de fédérer les acteurs du secteur et de favoriser le partage des connaissances et la mise en relation d'acteurs, notamment via l'animation d'un groupe de travail thématique.

Observatoire national de la séparation à la source des excréts humains

Le programme OCAPI recueille des retours d'expériences sur les projets de séparation à la source qui se développent, au niveau national. Il s'intéresse en particulier à ceux d'une certaine ampleur, c'est-à-dire qui sortent des niches de développement initial de l'assainissement écologique en France (toilettes domestiques en milieu rural, événementiel) et préfigurent une montée en échelle. En collaboration avec l'Institut Paris Région, une cartographie en ligne intitulée «Toilettes fertiles» a été développée. Elle présente un panorama non exhaustif de projets de séparation à la source en France avec des fiches de retours d'expériences détaillées.

Les actions de recherche et développement menées en France sont également répertoriées. Cette fonction d'observatoire fournit ainsi un support précieux de partage de données, à la fois pour mener de la recherche sur cette dynamique et pour répondre aux besoins d'information des acteurs locaux.



Accès vers le site internet "Toilettes fertiles" qui propose des retours d'expérience détaillés de projets d'assainissement circulaire en France et en Europe.

Co-animation de la thématique au sein d'un groupe de travail ARCEAU Ile-de-France

Depuis 2019, OCAPI co-anime, en collaboration avec le SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne) puis l'Institut Paris Région, un groupe de travail thématique dédié à la séparation à la source des eaux usées domestiques au sein de l'association ARCEAU Ile-de-France. Ce groupe réunit collectivités, chercheurs et praticiens de la séparation à la source au niveau national, pour favoriser la circulation des connaissances et le partage de retours d'expérience. Le groupe de travail anime également la production collective de documents : le fascicule "Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France" en 2021, la note sur les enjeux réglementaires liés à la séparation à la source en 2023, etc.



Intervention du programme OCAPI dans le cadre d'un petit-déjeuner décideurs-rechercheurs organisé par l'Institut Paris Région, Avril 2025. Crédits photo: IPR.

Outil de conception de filière : *Des toilettes aux champs*

Le jeu coopératif *Des toilettes aux champs* permet d'envisager collectivement toutes les étapes d'une filière de valorisation agricole des excréts (collecte, traitement, transport stockage, épandage), avec des éléments techniques en main.

Libre de droit et adaptable à différents contextes, il a déjà été animé avec des professionnels du secteur de l'assainissement, de l'aménagement, des étudiants ou encore une diversité d'acteurs sur un même territoire. Au cours de l'atelier, les participant·es composent collectivement une solution d'assainissement circulaire pour un scenario proposé. Ils se confrontent alors aux enjeux logistiques, de coûts, de réglementation, mais aussi d'appropriation du sujet par les acteurs du territoire.



Atelier de conception de filières de séparation à la source des excréts (plateau de «jeu», cartes de mise en situation, etc.).

Information et accompagnement des acteurs

Le programme OCAPI participe au partage des connaissances sur la séparation à la source. De nombreuses publications scientifiques, guides pratiques, notes de synthèse, vidéos de vulgarisation, etc. sont accessibles sur le site internet : www.leesu.fr/ocapi.

Des actions d'information et de médiation scientifique sont également menées, pour faire connaître la thématique à des acteurs clés de l'urbanisme, de l'assainissement et de l'agriculture, ainsi qu'à d'autres publics concernés. Enfin, le programme favorise la mise en relation et la montée en compétences d'acteurs, et accompagne des projets concrets, notamment portés par des collectivités locales.



Comité d'experts européens sur la séparation à la source, pour accompagner la Ville de Paris dans la collecte et le traitement séparatif des urines de l'écoquartier Saint-Vincent-de-Paul (600 logements). Crédits photo: Julie Ginestry.

Actions de communication et de sensibilisation du public

La sensibilisation du grand public passe par la publication d'une lettre d'information, les réseaux sociaux, la mise en ligne de vidéos, etc. S'ajoutent à cela des événements de médiation réguliers. Nous y mobilisons les Biscodors, outils de médiation comestible, produits avec l'association Circulus, issus de blé fertilisé à l'urine humaine. Les recherches menées font aussi l'objet de nombreuses reprises médiatiques. Le sujet de la séparation à la source devient de plus en plus visible.



Production de Dorayaki avec la Farine Boucle d'or, action de sensibilisation dans une pâtisserie japonaise à Paris.



Dynamiques sociales

L'objet de l'axe «Dynamiques sociales» est de comprendre les pratiques, les savoirs et les imaginaires associés au développement de la séparation à la source des excréts humains. A la croisée de logiques institutionnelles, de transformations territoriales, de questions sociotechniques ou encore culturelles, les travaux menés impliquent le dialogue entre plusieurs disciplines: anthropologie, sociologie, urbanisme, géographie, droit, etc. Si nos études concernent essentiellement les dynamiques à l'œuvre en France, nos analyses les replacent dans les contextes européen et global.

Niches de développement de la séparation à la source en ville

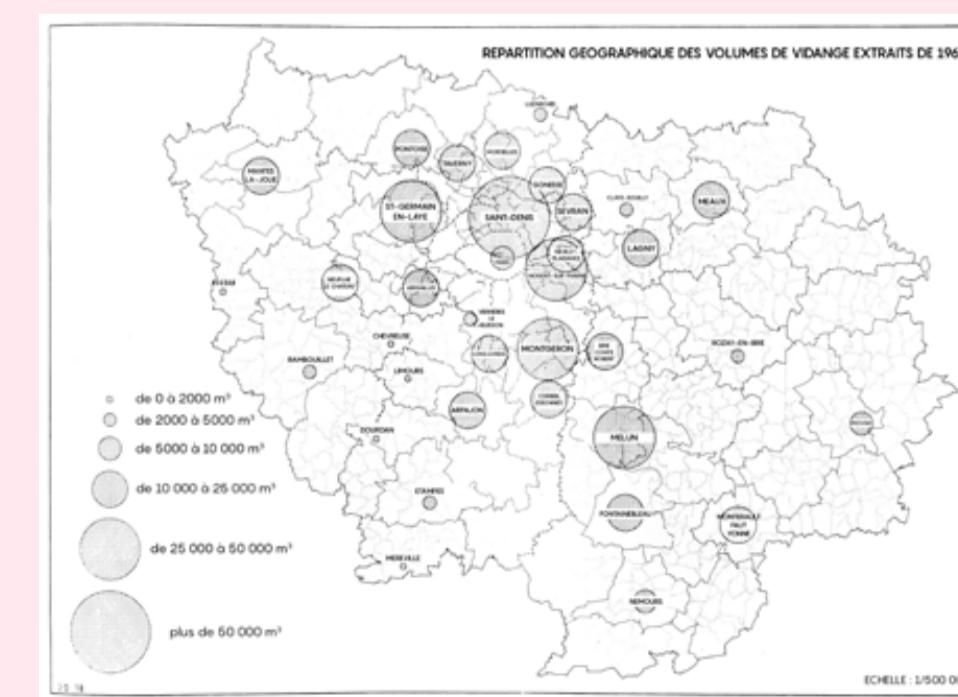
Les toilettes sèches et la collecte sélective de l'urine se sont d'abord développées dans l'événementiel, les sites isolés, et en contexte domestique en milieu rural. Ces pratiques investissent aujourd'hui les territoires urbains, au sein de niches de développement telles que les toilettes publiques, l'habitat participatif, l'urbanisme transitoire ou encore les écoquartiers. Quels acteurs portent cette émergence, quelles sont leurs motivations, leurs stratégies? Y-a-t-il des contextes plus favorables que d'autres? Comment cette dynamique peut-elle servir de point d'appui au développement de stratégies régionales, jusqu'à faire de la séparation à la source un sujet pour la planification urbaine?



Immeuble d'habitat participatif équipé de toilettes sèches, Grenoble. Au Clair du Quartier, par Architecture In Vivo. Photo: ©Nicephore Tsimbardaros.

Approche historique des politiques biogéochimiques

Etudier les trajectoires biogéochimiques, c'est analyser la façon dont les flux de nutriments et de matière organique sont (ré)orientés au fil du temps par un ensemble de choix techniques et politiques: on peut parler de "politiques biogéochimiques". Au XIXe siècle, certaines villes françaises ont atteint des niveaux importants de valorisation des ressources contenues dans les excréts humains. Le XXe siècle, lui, a largement consacré l'abandon de ces matières, ainsi que des ordures ménagères, jusqu'à l'émergence de stratégies de "valorisation énergétique". Aujourd'hui, des politiques publiques encadrent le tri des déchets ménagers et soutiennent la valorisation agricole des "biodéchets". De la même manière, ne pourrait-on pas trier aussi nos eaux usées pour renouer avec leur valorisation passée?



Les volumes de matières de vidange recueillies et évacuées en région parisienne en 1966. Source: AFBSN, «Elimination des produits de vidange dans la région parisienne», 1969, Archives départementales des Hauts-de-Seine.

Aux toilettes... et après ? Les expériences quotidiennes en question

Avec l'utilisation des toilettes sèches et l'organisation de la collecte sélective des urines, comment se transforment mes expériences quotidiennes associées au fait de faire ses besoins? Des apprentissages techniques à la réinvention des notions de confort et d'hygiène, les toilettes deviennent un observatoire privilégié des transformations culturelles contemporaines, de la sphère intime au métabolisme planétaire. De nouvelles formes d'engagement s'y déplient. Des imaginaires autour de la fragilité de l'eau et de la fertilité des déchets corporels prennent forme.



Mains d'enfant lisant «T'choupi va sur le pot».

Entretenir, maintenir dans la durée : la séparation à la source à l'échelle du bâtiment

Comme d'autres innovations, telles que la collecte de l'eau de pluie, les installations de séparation à la source font face à un enjeu clé: leur fonctionnement dans la durée. Que ce soit en termes d'usage, d'entretien ou de maintenance, une fois mises en service, elles rencontrent diverses épreuves: techniques (défection de pièces, débordement), sociales (mésusage, dégradations), organisationnelles (absence d'un véritable service de maintenance, manque de formation des agents d'exploitation). Comment ces épreuves sont-elles surmontées, ou non?



Les toilettes sèches reliées à un composteur demandent une attention régulière de la part d'une personne compétente - ajout de matière sèche, etc.).

Bibliographie

Dufour, E. 2024. La fin du recyclage ? Rupture métabolique et politiques biogéochimiques en région parisienne au XXe siècle. Thèse de Géographie et Aménagement de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Emmanuel Adler (2020). La gestion des déjections humaines : un défi urbain. Le cas de la ville de Lyon, de la fin du 18e au début du 20e siècle. Thèse de doctorat. Sous la direction de Bruno Tassin et Eric Baratay.

Joveniaux, A. et al., 2022. Towards the development of source separation and valorization of human excreta? Emerging dynamics and prospects in France. *Frontiers in Environmental Sciences*.

Joveniaux A., De Gouvello B., Legrand M., 2021. L'émergence d'un commun en matière d'assainissement urbain: les toilettes sèches séparatives en habitat participatif, *Flux*, 2021/2-3 (N° 124-125), p.27-40.

Legrand M., 2020. Digestions fertiles ? Le retour au sol des excréments humains. *Revue d'Anthropologie des connaissances*, 14-4.

Soyer, M., 2022. Les usagers de toilettes sèches en Limousin : retours d'expérience. Une enquête sociologique menée sur le plateau de Millevaches. OCAPI/LEESU/ENPC.

Démonstrateurs

L'axe «Démonstrateurs» vise à analyser, voire à développer, des projets pilotes de séparation à la source des excréts. Le but est d'étudier, par une approche sociotechnique et transdisciplinaire, les enjeux de diffusion des pratiques. L'analyse porte sur des bâtiments équipés et des filières de valorisation (expérimentaux, pilotes ou opérationnels sans suivi spécifique) qui œuvrent d'une manière délibérée ou non à la diffusion de la séparation à la source. C'est cette participation des projets pilotes, existants ou construits par OCAPI de manière *ad hoc*, à la diffusion de la pratique, que l'on propose d'appeler ici des démonstrateurs.

Conception, construction, maintenance et logistique

A travers des exemples concrets, nous étudions l'articulation entre conception, construction et exploitation des dispositifs (de collecte, stockage, transport, traitement et utilisation au champ). Nous nous intéressons également aux pratiques et aux conditions de travail associées à leur entretien et maintenance. C'est le travail mené par exemple dans le cadre de l'installation de la collecte de l'urine dans un bâtiment de l'Ecole nationale des ponts et chaussées. En tant que maître d'ouvrage, nous expérimentons la mise en œuvre concrète dans un bâtiment universitaire afin de documenter les freins ou opportunités. En plus de l'installation, il est prévu un accompagnement et un suivi de l'appropriation des dispositifs par les gestionnaires et équipes d'entretien.



Bâtiment Coriolis sur le campus de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, en cours de travaux d'amélioration du démonstrateur de collecte et valorisation de l'urine, avec production d'urinofertilisant *in-situ*, dans le cadre du projet européen P2GreeN. Atelier Thierry Roche & Associés. Photo Renaud Araud.

Démonstration agricole d'une filière opérationnelle

Les projets de séparation à la source que le programme Ocapa a vu se développer depuis 2018 étaient plutôt initiés par des acteurs du «monde urbain», prenant peu en compte les besoins des agriculteurs. Ce constat nous a poussés à développer des démonstrateurs qui s'adresseraient davantage aux acteurs du monde agricole, pour faire remonter leurs contraintes spécifiques et mettre en lumière cette étape auprès des autres acteurs. Par exemple, depuis 2022, le programme Ocapa collabore avec la Métropole de Lyon, un prestataire de toilettes sèches et un agriculteur pour déployer un démonstrateur d'utilisation de lisain (=urines hygiénisées par stockage) sur des parcelles de maïs. L'objectif est de documenter le projet pour favoriser l'embarquement d'acteurs et la diffusion de la pratique.



Animation sur la parcelle d'expérimentation et de sensibilisation du projet Kolos, regroupant la métropole de Lyon, un prestataire de toilettes sèches et un agriculteur. Crédit: Infoagri69.

Démonstration d'une filière citoyenne en Île-de-France

A travers le projet Envile, nous avons développé une filière entre un groupe d'habitants qui collectent leur urine à domicile et une ferme maraîchère qui leur livre des légumes chaque semaine. Le projet, localisé à Châtillon (92), fait office d'exemple pour tous les citoyens et fermes intéressés. Les travaux menés ont notamment montré l'intérêt d'organiser des points d'apports volontaires, pour valoriser l'urine dans l'habitat existant, à l'instar de la gestion de proximité des biodéchets avec les composteurs de quartier. Nous avons publié les plans des dispositifs conçus et la description des protocoles déployés, pour permettre à d'autres collectifs d'envisager la réplication dans des contextes similaires.



Apport d'un bidon d'urine au "point d'apport volontaire d'urine" et la station de transvasement pour vider facilement son bidon de 5L d'urine.

Matérialiser la boucle des nutriments en produisant des aliments fertilisés au lisain

Pour montrer l'existence de filières opérationnelles et concrètes, le programme Ocapa valorise les productions agricoles issues des expérimentations (blé, betteraves, pommes de terre...) comme objets de médiation sur la séparation à la source des excréts humains. En particulier, en partenariat avec l'association Circulus, toute une gamme de produits et dégustations ont été développés autour de la farine «Boucle d'Or», dont le blé a été cultivé grâce à un engrais à base d'urine humaine dans le cadre d'expérimentations au champ: Biscodors (biscuits), Crêpodors (crêpes), Cookidors (cookies) et même les coquillettes, servies au colloque des 10 ans d'OCAPI.



À gauche: moisson des essais de fertilisation à l'urine sur champs de blé en 2019, projet Agrocapi.

À droite: sachet de «Biscodors», les biscuits préparés à la farine du blé urinofertilisé, issu des expérimentations agronomiques.

Bibliographie

Brun F. et al., 2024. Séparation à la source des excréts: bases pour des règles professionnelles. *Techniques de l'ingénieur*.

Brun F (coord.), 2024, Note pour concevoir et exploiter les réseaux de collecte de l'urine humaine. ARCEAU-idf.

Lena Meunier et Florent Brun, 2024, Une analyse de filières opérationnelles de séparation à la source au prisme de la démonstration. Rapport de recherche, LEESU.

Raguet, L. et Esculier F. 2024. Exemple de développement d'une filière citoyenne de valorisation agricole de l'urine humaine. Rapport du projet Envile. OCAPI/LEESU/ Ecole nationale des ponts et chaussées.

Soyer M et al., 2024. «Refaire la ville par les petits coins? Les toilettes sèches comme objet d'expérimentation, en contexte d'urbanisme transitoire dans le Grand Paris», *Métropoles*, p.35.

Utiliser l'urine humaine en agriculture. Fiches pratiques. Agrocapi, 2022.



Agricultures

L'axe «Agricultures» vise à étudier l'utilisation de fertilisants dont les nutriments sont issus des urines et matières fécales humaines. Les travaux menés se penchent notamment sur l'efficacité fertilisante de ces matières, les itinéraires techniques associés et l'appropriation de ces nouvelles pratiques par le secteur agricole, dans sa diversité. Plusieurs points de vigilance sont également abordés : le transfert de potentiels indésirables (résidus pharmaceutiques, gènes d'antibiorésistance...), la volatilisation de l'azote ainsi que les moyens à déployer pour éviter ces nuisances. C'est par la mise en pratique avec les acteurs agricoles que le programme OCAPI s'attache à répondre aux questions soulevées par l'utilisation des fertilisants issus des excréta humains.

Définir et caractériser les «urinofertilisants»

A l'origine de l'axe Agricultures il y a le projet «Agrocapi» (2018-2021). Il a permis de mener des tests sous serres et en plein champ qui ont confirmé les bonnes performances agronomiques des urinofertilisants. Il s'est également concentré sur le bilan environnemental des filières par une analyse de cycle de vie. En proposant des fiches pratiques de caractérisation des urinofertilisants, le projet accompagne depuis 2021 l'émergence des filières de valorisation agricole de l'urine en France. Ces fiches apportent des références sur une quinzaine de produits caractérisés selon leur intérêt agronomique, leur composition, etc. Ce projet a également permis d'aborder les freins, leviers et synergies liés à la pratique des acteurs des filières.



À gauche : le livret des «fiches pratiques» décrivant les urinofertilisants, issu du projet Agrocapi (2021).

À droite : quelques urinofertilisants caractérisés dans le projet Agrocapi. De gauche à droite, de haut en bas : lisain, ©Aurin, Granurin (crédits : SLU), sulfate d'ammonium, urine et compost.

Le lisain, un urinofertilisant accessible

L'urinofertilisant le plus utilisé aujourd'hui en France est le lisain (= «lisier humain»). Il s'agit d'urine humaine hygiénisée par stockage (de 1 à 6 mois, selon les cultures fertilisées), suivant les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2012). Le lisain présente des teneurs moyennes communément admises en azote, phosphore, potassium respectivement de 6g/L, 0,5g/L et 0,1g/L. Sensiblement similaire au lisier et digestat de méthaniseur, il est sujet à la volatilisation lors de l'épandage. Pour éviter les nuisances et les pertes d'azote, il convient de prendre des mesures spécifiques: enfouissement, conditions météorologiques, paillage après application, etc.



Cuve de lisain en cours d'application en serre, avec injecteur venturi pour dilution et goutte-à-goutte (sous bâche) pour limiter la volatilisation.

Le pipiculteur : un injecteur pour limiter la volatilisation

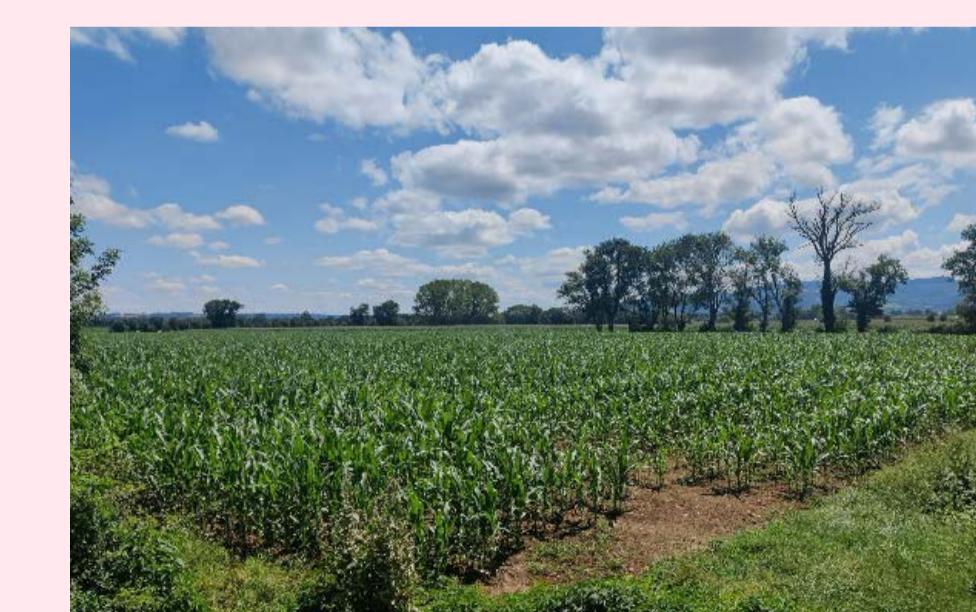
Pour favoriser l'application du lisain sur des planches maraîchères, nous avons développé un outil agricole pour injecter le lisain dans le sol, avant semis ou plantation. L'injection permet de limiter les odeurs et la volatilisation de l'azote lors de l'épandage. L'outil a été conçu à partir du châssis du «Vibroplanche», proposé par l'Atelier Paysan, auquel est ajouté une motopompe, des tuyaux fixés aux dents et éventuellement une cuve si elle n'est pas embarquée à l'avant sur les fourches du tracteur. Deux prototypes fonctionnels ont été réalisés et peuvent être mis à disposition des fermes intéressées par la pratique.



Le pipiculteur développé dans le projet Envile, un outil agricole à atteler à un tracteur, pour injecter du lisain sur des planches maraîchères avant plantation ou avant semis.

Mise en pratique : fertilisation au lisain d'une parcelle de maïs

Dans la continuité des travaux d'Agrocapi, le projet Kolos a permis de documenter une fertilisation de maïs au lisain à Quincieux (69). Suite à un processus de construction collective, la Métropole de Lyon, un prestataire de toilettes sèches mobiles et un agriculteur sont mobilisés pour mettre en œuvre cette fertilisation. Nous avons développé un protocole d'analyse en lien avec les attentes de l'agriculteur, de la Chambre d'Agriculture du Rhône et de l'ISARA : itinéraire technique de fertilisation, questions d'innocuité, de logistique, mesure des performances agronomiques. Nous avons publié en ligne le cahier d'expérimentation présentant les résultats des analyses et des témoignages des acteurs impliqués dans cette expérimentation, pour favoriser l'essaimage de l'utilisation du lisain comme fertilisant.



Parcelle expérimentale de maïs, projet KOLOS.

Les éléments indésirables des urinofertilisants en agriculture

L'usage de fertilisants issus de l'urine humaine peut interroger: ces produits contiendraient-ils des substances indésirables ? Les risques et incertitudes liés à l'utilisation d'urinofertilisants sont approchés ici grâce à des réflexions collectives en interdisciplinarité avec les membres du programme (écotoxicologie, anthropologie, ingénierie...) mais aussi en lien avec les acteurs dans les territoires (organismes agricoles, élus et agents des collectivités, citoyens...). Une note de synthèse qui s'appuie notamment sur une étude de cas d'épandage de lisain a été produite. Il en ressort qu'il paraît peu probable que les indésirables apportés engendrent un risque significativement plus élevé que les autres pratiques actuellement associées à des intrants agricoles (voir panneau «Santé»).

Bibliographie

Brun et al., 2020. Vers une valorisation des urines humaines, le regard des agriculteurs franciliens. *Études rurales* 206.

Martin, T. 2020. L'urine humaine en agriculture: des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable. *Thèse de doctorat. Univ. Paris-Saclay.*

Utiliser l'urine humaine en agriculture. Fiches pratiques. Agrocapi, 2022.

Santé

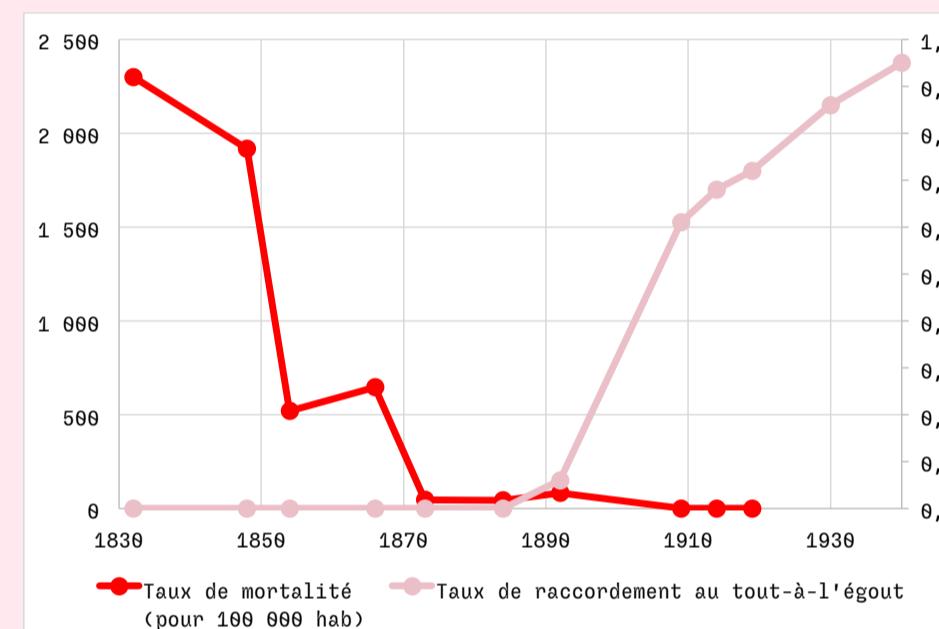
L'objet de l'axe « Santé » est d'étudier les différentes questions sanitaires associées au déploiement des filières de valorisation agricole des excréts humains. Il s'intéresse d'une part aux transmissions de pathogènes en lien avec les différentes pratiques d'assainissement, et d'autre part aux risques environnementaux associés à l'usage des fertilisants issus des excréts, ainsi qu'aux moyens mis en œuvre pour les éviter. Les travaux menés visent aussi à mettre en regard les pratiques d'assainissement visant la circularité, par rapport aux pratiques actuelles courantes d'assainissement et de fertilisation. Les réflexions se placent dans une perspective de santé globale, liant la santé humaine et celle des écosystèmes.

Le tout-à-l'égout n'est pas une méthode d'assainissement global

La thèse de Paul Minier (1) a étudié d'une part le rôle joué par le tout-à-l'égout dans la gestion du risque infectieux intestinal lié aux matières fécales, et d'autre part le potentiel de gestion des matières fécales par voie sèche.

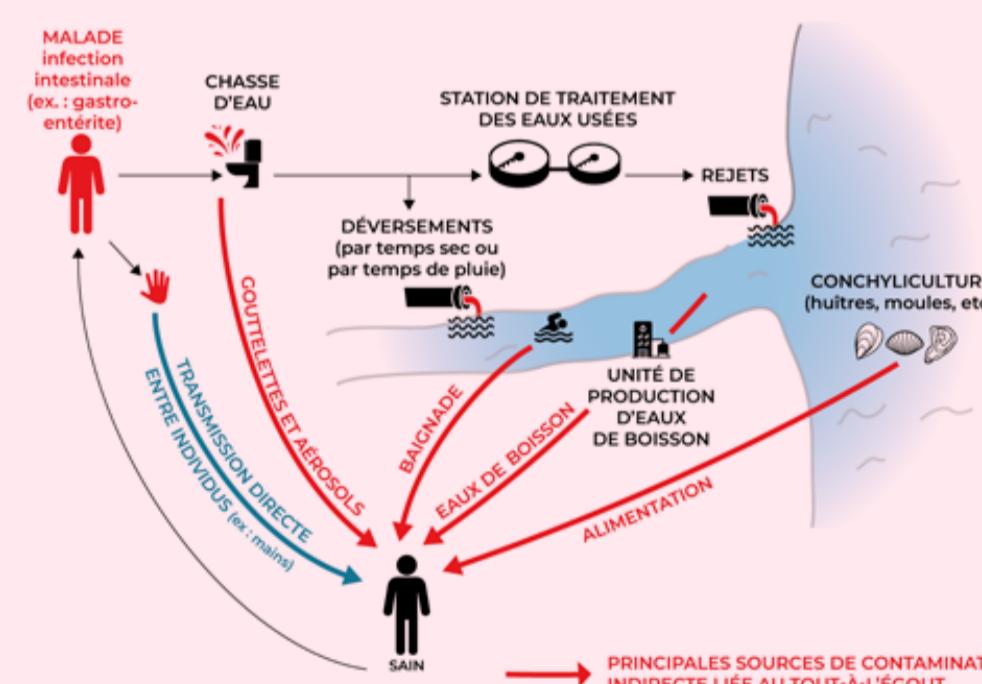
En évacuant le risque fécal des zones urbaines densément peuplées, le tout-à-l'égout limite la contamination intra-urbaine, mais il déplace ce risque vers l'environnement. Cette gestion entraîne un fort risque de santé publique pour les usagers du milieu récepteur, situés en aval du rejet. Dans de nombreux pays industrialisés comme la France, d'autres barrières curatives sont alors présentes pour limiter ce risque (traitement de l'eau de consommation, restrictions de baignade, interdiction de vente de coquillages, etc.).

Ce travail a montré que, depuis son développement à partir de la fin du XIXe siècle, l'efficacité sanitaire globale du tout-à-l'égout dans la gestion des matières fécales manque de preuves précises, notamment en raison de la concomitance avec d'autres facteurs, comme l'alimentation en eau de bonne qualité et d'un contexte général d'amélioration de la santé et de transition épidémiologique. À Paris par exemple, ce n'est clairement pas le tout-à-l'égout qui a fait baisser la mortalité associée au choléra.



Évolution du taux de mortalité associé au choléra à Paris et taux de raccordement au tout-à-l'égout.

L'analyse qualitative du risque sanitaire biologique de systèmes existants en séparation à la source montre qu'ils pourraient être davantage sûrs d'un point de vue sanitaire. Ils pourraient permettre une gestion préventive, par confinement des matières fécales, du risque de transmission des maladies infectieuses intestinales.



Principales voies de transmission des maladies infectieuses intestinales dans le système du tout-à-l'égout (adapté de (1)).

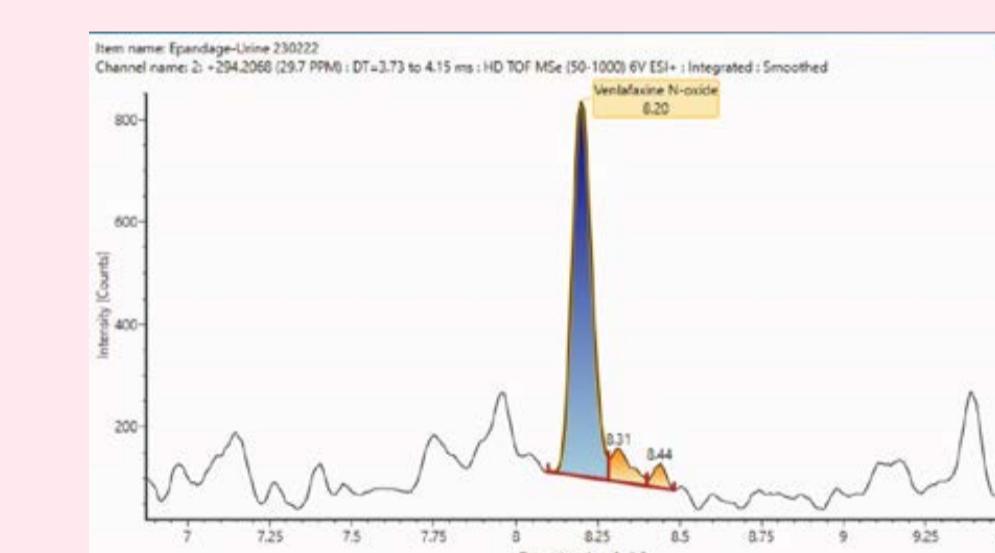
Micropolluants organiques dans les urinofertilisants : des risques significatifs ?

La présence dans un urinofertilisant de micropolluants tels que des résidus médicamenteux est une préoccupation majeure et légitime pour les agriculteurs et le grand public. Ocapi participe à mesurer les concentrations de micropolluants dans les urinofertilisants pour estimer les risques de contamination des sols et des cultures (2). Des analyses ciblées sont réalisées sur une cinquantaine de molécules pharmaceutiques (anti-inflammatoires, antibiotiques...). Des analyses non-ciblées permettent de réaliser des empreintes de micropolluants et suivre leur devenir après traitement et dans le sol.

Les concentrations apparaissent faibles en comparaison d'autres matières fertilisantes ou de celles des pesticides appliqués directement sur les cultures (3). De plus, des traitements sont parfois utilisés pour abattre ces molécules dans les urinofertilisants. Toutefois, des travaux supplémentaires sont nécessaires pour mieux évaluer les risques.



Instrument de chromatographie en phase liquide et spectrométrie de masse haute résolution pour la détection des micropolluants organiques.



Détection de la venlafaxine-N-oxide dans un échantillon d'urine, un produit de dégradation de la venlafaxine (antidépresseur).

Bibliographie

1. Minier P. Assainir la ville sans contaminer l'environnement : tout-à-l'égout et séparation à la source face au risque sanitaire lié aux matières fécales. Ecole nationale des ponts et chaussées, 2023.
2. Fabien E, Sabine H, Florent L, Tristan M, Marjolaine D, Christine A, et al. Projet Agrocapi - Étude de filières de valorisation agricole d'urinofertilisants. Rapport final.:2022.
3. BRUN Florent (coord.) 2025. Note de synthèse: les éléments indésirables des urinofertilisants en agriculture. Projet Kolos, Programme OCAPI, LEESU, École nationale des ponts et chaussées, Institut Polytechnique de Paris, Univ Paris-Est-Créteil, 34 pages.



LEESU

laboratoire eau environnement systèmes urbains

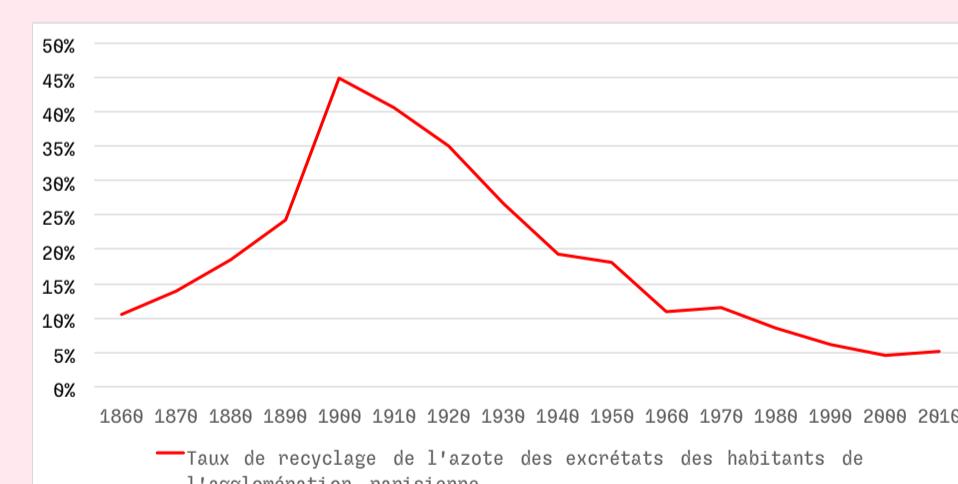


Métabolisme

L'objet de cet axe est d'étudier la soutenabilité des systèmes alimentation-excrétion du point de vue du métabolisme territorial: nous évaluons la circulation des flux de matière et d'éléments nutritifs (notamment azote et phosphore) sur lesquels reposent les sociétés humaines. Nous regardons les relations entre production agricole, approvisionnement alimentaire et gestion des matières organiques, en particulier les excréts (urines et matières fécales). L'objectif est également de quantifier et représenter les flux associés ainsi que de comprendre les transformations passées, actuelles et futures de leur gouvernance.

Recycler les excréts : histoire d'un oubli

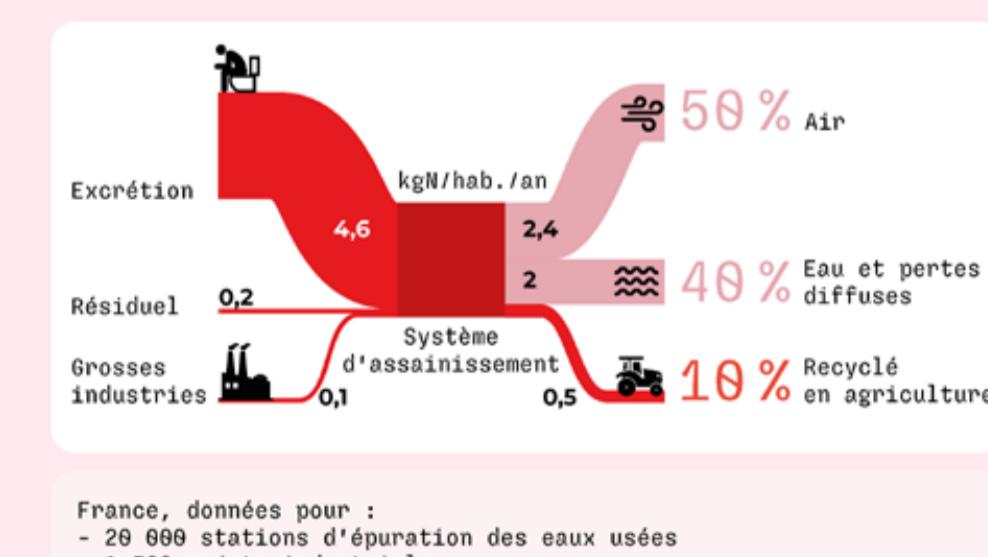
Si la gestion des excréts par le tout-à-l'égout semble aujourd'hui être une évidence, c'est en fait un phénomène relativement récent et controversé. Durant des siècles, la récupération des urines et matières fécales et leur transformation en engrais a été la norme à travers le monde. Les villes occidentales sont passées, au cours du 19e et du 20e siècle, d'un système relativement circulaire à un système essentiellement linéaire (1). Le programme OCAPI s'intéresse aux nouveaux paradigmes combinant circularité, salubrité et confort, pour aller vers un système alimentation-excrétion soutenable.



Évolution du taux de recyclage de l'azote en région parisienne des années 1860 aux années 2010. Un pic de circularité a été atteint autour de 1900 (45%) grâce à la valorisation conjointe des matières de vidange et de l'épandage des eaux usées, sur les territoires agricoles autour de la ville. Source (2).

L'insoutenable linéarité de l'assainissement actuel

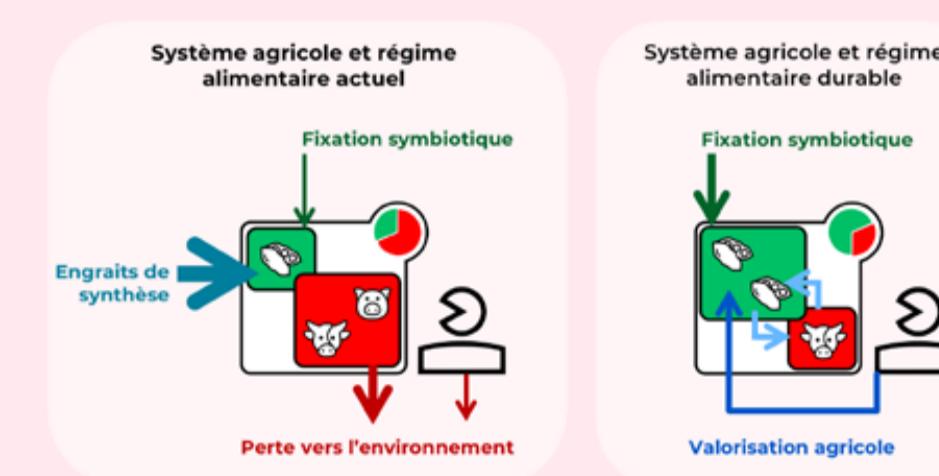
Les excréts contiennent des nutriments indispensables à la croissance des plantes. Malheureusement, leur gestion par les chasses d'eau et le tout-à-l'égout ne permet pas de les valoriser efficacement. Ils sont contaminés par les polluants présents dans les eaux usées et les stations de traitement peuvent difficilement récupérer les matières fertilisantes. Elles détruisent ainsi la majorité de l'azote réactif et laissent la moitié du phosphore se perdre dans l'environnement, malgré l'épandage de 75% des boues en France (3,4). Ces nutriments, «perdus», sont aujourd'hui remplacés, dans les sols agricoles, par des engrais de synthèse importés.



Flux d'azote dans le système d'assainissement Français en 2020: la quasi-totalité est perdue dans l'air, l'eau et les sols non agricoles. Seul 10% retourne sur les parcelles agricoles via l'épandage des boues de station de traitement des eaux usées. Source: (3).

Le rôle majeur des excréts pour la souveraineté alimentaire

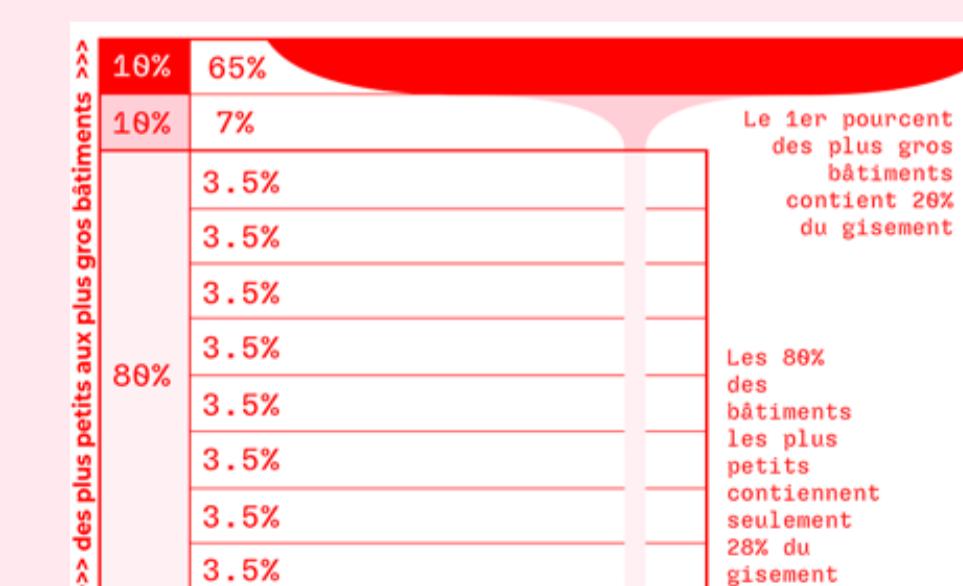
Si notre agriculture nécessite aujourd'hui des importations de ressources fossiles pour fertiliser les champs, cette dépendance à des pays comme la Russie ou le Maroc n'a rien d'inévitable. Une étude a montré qu'il serait possible de nourrir la population européenne sans imports d'engrais ni d'aliments pour les animaux en divisant par deux la consommation de protéines animales et en valorisant les nutriments présents dans les excréts humains (5). Des scénarios du PIREN Seine ont également proposé des pistes pour nourrir la population du bassin de la Seine grâce aux nutriments contenus dans les excréts (6). Nos analyses montrent que 70% des villes françaises peuvent théoriquement valoriser tous leurs excréts sur des champs à moins de 10 kilomètres (7).



Vers un système agri-alimentaire durable capable de nourrir la population européenne: l'usage important de légumineuses (pois, lentilles...) permet de fixer l'azote de l'air pour compenser les pertes tandis que la valorisation agricole des excréts permet d'équilibrer le bilan en phosphore. D'après (5).

La séparation à la source: une transition qui peut être à la fois progressive et efficace

Récupérer la majorité des urines et matières fécales pour en faire des engrais peut sembler difficile à imaginer. Pourtant, nos modes de vie urbains pourraient rendre cette tâche relativement simple d'un point de vue technique car la majorité des urines et matières fécales sont produites dans un petit nombre de grands bâtiments. En Île-de-France, les 1000 plus grands ensembles contiennent environ 10% du gisement et le premier décile des bâtiments les plus importants contient près des deux tiers des nutriments à collecter. En priorisant correctement les travaux, on pourrait ainsi produire rapidement de grandes quantités d'engrais locaux et renouvelables. Un outil pour permettre d'explorer les gisements d'un territoire, et les impacts de leur collecte et valorisation, est en cours de finalisation à la suite du projet européen CAFE.



Repartition des excréts produits dans les bâtiments d'Île-de-France : les premiers pourcents des plus grands bâtiments contiennent plus de la moitié du gisement. Source Tanguy Fardet, Projet CAFE.

Bibliographie

1. Esculier F. Le système alimentation/excrétion des territoires urbains: régimes et transitions socio-écologiques. Thèse de doctorat. Université Paris Est; 2018.
 2. Esculier F et Barles S. Past and Future Trajectories of Human Excreta Management Systems: Paris in the Nineteenth to Twenty-First Centuries. In: The Seine River Basin. Springer International Publishing; 2021 p. 117-40.
 3. Starck T, Fardet T, Esculier F. Fate of nitrogen in French human excreta: Current waste and agronomic opportunities for the future. Science of The Total Environment. 20 févr 2024.
 4. Starck T, Fardet T, Esculier F. Phosphorus recycling from human excreta in French agroecosystems and potential for food self-sufficiency. Nutr Cycl Agroecosyst. 1 déc 2024.
 5. Billen G, et al., Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity. One Earth. 18 juin 2021.
 6. Le système agro-alimentaire du bassin de la Seine : passé, présent et futurs possibles. PIREN Seine; 2020. Rapport Volume 1.
 7. Starck T. Towards a circular management of nitrogen and phosphorus in human excreta: current state, global agricultural potential, and spatial constraint in France. Thèse de doctorat. Ecole nationale des ponts et chaussées; 2024
- Crédits icônes schéma flux d'azote : toilette (Luis Prado), industrie (Marco Livolsi), eau (Singlar), tracteur (sandra), air (Elvn Sands), <https://thenounproject.com>.

Recherche-création

A la rencontre entre sciences et arts, les travaux de l'axe «recherche-création» proposent d'aborder de façon sensible le métabolisme organique des villes et le cycle de l'azote, phénomènes complexes et souvent impalpables. Poésie, fiction, installations, deviennent outils à part entière de la recherche et de sa restitution, pour une mise en récit ouverte et partagée facilitant le débat autour de sujets cruciaux: les liens nourriciers entre humains et autres êtres, la place de nos habitats dans les cycles et rythmes de la biosphère.

Humus Humains : ces matières dont nous devons compte à la terre

Humus Humains est une conférence contée et musicale. D'où viennent les nutriments qui fertilisent les terres agricoles? Les plantes cultivées s'en nourrissent dans les sols puis les humains ingèrent ces précieux nutriments contenus dans notre alimentation. Où vont-ils ensuite ? Mélant poésie, musique, science et dégustation, ce spectacle fait découvrir de façon originale le circuit des nutriments à travers l'espace et le temps. Le spectacle est suivi d'un temps de débat et de partage de ressources.



À gauche : Affiche du spectacle *Humus Humains*. Spectacle créé en 2019 par Fabien Esculier, Marine Legrand, Bojidar Langevin, Louise Raguet, avec la participation de la boulangerie Le Bricheton.

À droite : photo du spectacle *Humus Humains*. Crédits photo: Guillaume Deleporte.

Poésies digestives

Et Si la terre était un grand ventre, un ventre qui digère? Voici l'image qui a guidé une série d'expériences textuelles et d'ateliers menées depuis 2018 à la rencontre entre ethnographie, conte et poésie (1). Pour explorer des relations métaboliques entre les corps humains, les autres vivants et leurs milieux de vie, en circulant du matériel au symbolique, de l'infime à l'immense, de l'évident à l'insensé. Et partager ces histoires pour tisser de nouvelles relations. Une idée de consigne: «Racontez à votre voisin de table le souvenir d'un repas, du point de vue de l'un des aliments de l'assiette».



Dessin illustrant le texte *En Terre Ventre* de Marine Legrand (2).

Le Dit de l'azote

L'azote est un élément essentiel à la vie. C'est aussi une figure essentielle des catastrophes écologiques contemporaines. Comment rendre sensible la place qu'occupe cet élément dans nos vies? Inspiré du tarot de Marseille, le Dit de l'azote est une installation interactive, un jeu d'association de mots et d'images. Il sert de support à des ateliers d'écriture collective, pour explorer les relations entre différentes figures liées à l'azote. De l'ammonitrice aux épis de blé, des tranches de jambon au microbiote intestinal, en passant par des entités moins spontanément associées à l'azote comme le poppers, les particules fines, le gaz hilarant...

Une collaboration initiée en 2024 entre Anaïs Tondeur (artiste), Jérôme Santolini (biochimiste) et Marine Legrand (anthropologue).



Fresque sur l'azote dans l'anthropocène présentée à l'exposition *A la limite - Innover à la mesure du monde - 2055*, Lumen, Université Paris Saclay, 2024.

L'association Circulus

Circulus est une association créée en 2021, reliée au programme OCAPI et soutenue par l'Ecole nationale des ponts et chaussées. Elle réunit des acteur·ices de toute sorte (chercheur, habitant, jardinier, designer, artisan, artiste...) autour d'une même idée: recréer un mutualisme organique entre ville & campagne, rompu au XXe siècle avec l'invention des engrâis de synthèse et l'avènement du tout-à-l'égout. Circulus a pour vocation de porter des projets de médiation culturelle et artistique sur le thème du métabolisme territorial, du cycle de l'azote.... Une façon originale de contribuer à la production et la diffusion des connaissances, à l'appropriation citoyenne de ces sujets.

Circulus est un partenaire essentiel pour les projets de recherche-création menés en lien avec Oapi comme le spectacle *Humus Humains*, les productions alimentaires avec la farine Boucle d'or ou encore le podcast *En Selles* sur l'histoire des toilettes.



La saison 1 du podcast *En Selles*, composée de 9 épisodes de 20 à 30min, retrace de manière chronologique l'histoire des toilettes, de l'antiquité à nos jours. Crédits : Jeremy Masse.

Bibliographie

1. Legrand M. Poésie digestive des territoires urbains. In: *Dispositifs de recherche-création: Dialogue entre recherche universitaire et création artistique*. Delatour; 2024. (Di Bartolo F, Bonin O. aCROSS).
2. Legrand M. En Terre Ventre. Une approche organique de la métropolisation. *Ecozon@: European Journal of Literature, Culture and Environment*. 31 oct 2019;10(2):111-30.

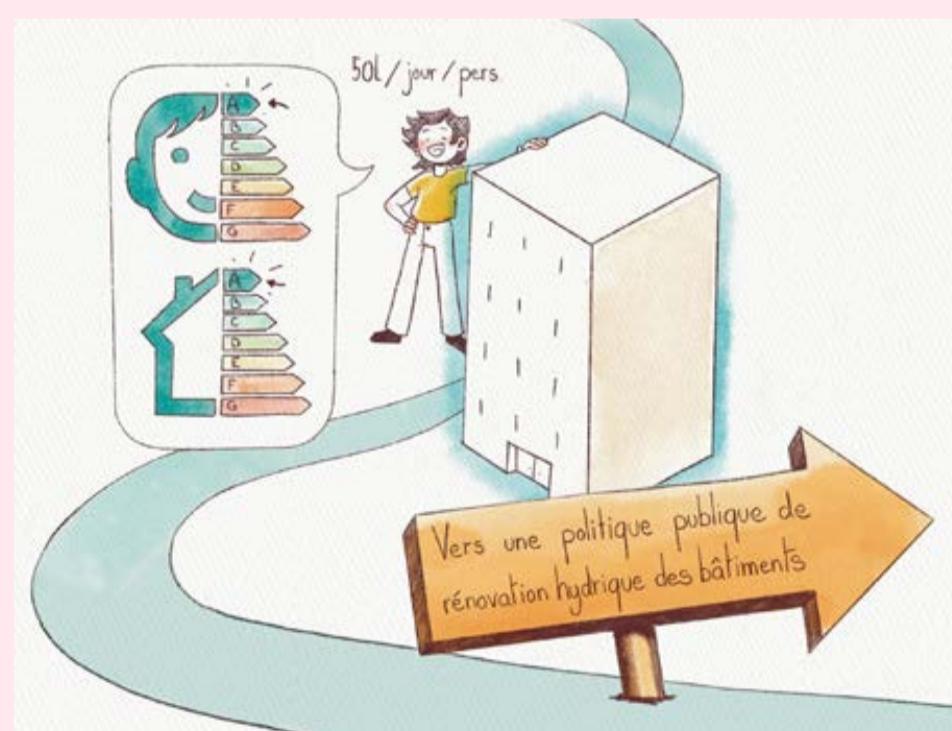


À la confluence

La séparation à la source est une pratique transversale qui contribue à limiter le dépassement de plusieurs des 9 frontières planétaires définies par le Stockholm Resilience Centre. Elle permet des économies d'eau, limite les rejets polluants des eaux usées et des gaz à effet de serre, et valorise les nutriments et la matière organique des excréts en agriculture. Outre la question environnementale, la séparation à la source répond à des enjeux de lutte contre la faim, accès à la santé, à l'eau salubre et à l'assainissement, mise en place de communautés soutenables (objectifs du développement durable). Plusieurs projets du programme OCAPI adoptent ainsi une vision globale en intégrant la séparation à la source à d'autres enjeux de sobriété matérielle et de transformation sociale.

Séparation à la source et gestion sobre de l'eau dans les bâtiments

Le projet SobriEau vise une gestion sobre de l'eau dans les bâtiments existants, en agissant sur la technique et les usages. Objectif: passer d'une moyenne de 150 à 50L/jour/personne. L'ensemble des besoins et usages de l'eau seront audités, questionnés et repensés. Le projet cherche à dépasser plusieurs limites actuelles: économies trop faibles, tabou sur les toilettes, tendance à la substitution d'eau potable par de l'eau de pluie ou des eaux grises sans sobriété ni efficacité au préalable, modèle économique non viable pour les opérateurs d'eau et d'assainissement, etc.



Fresque du projet SobriEau pour une rénovation hydrique des bâtiments. Crédits: extrait d'une illustration de Mathilde Savey pour le projet SobriEau.

Séparation à la source des excréts et des biodéchets: des synergies à explorer

Le projet TANGO s'intéresse aux articulations entre gestion des biodéchets et des excréts séparés à la source. Il combine plusieurs approches: une étude des procédés de traitement et des synergies envisageables, une modélisation quantitative des flux de matière concernés, et une analyse des enjeux sociotechniques associés à cette transition.

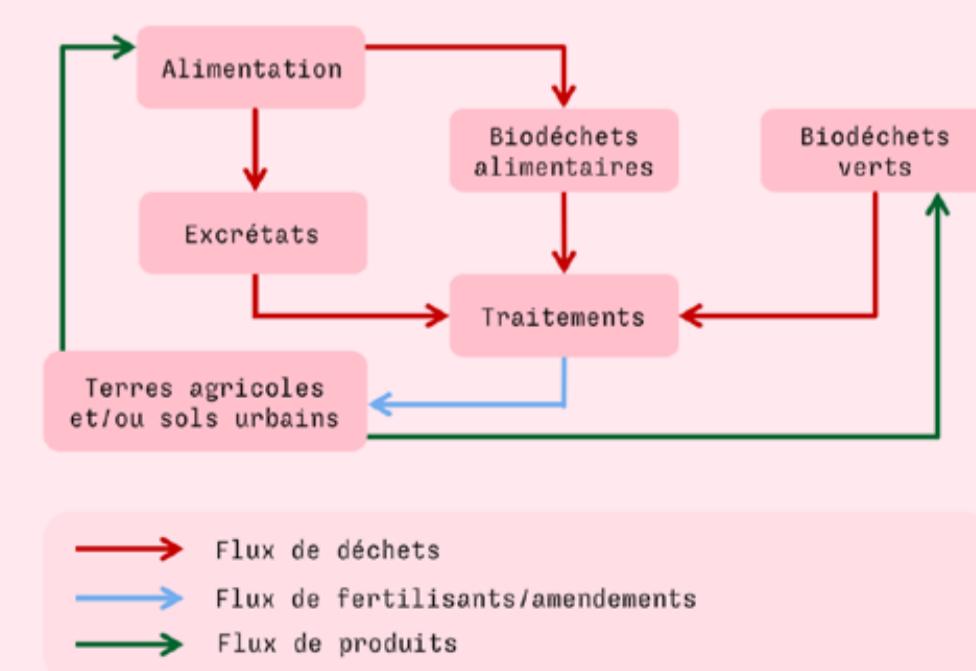
De façon complémentaire, les projets POPCORN et POP-Extend permettent de mieux caractériser mes pratiques de consommation alimentaire et de production de biodéchets.



Ci-dessus et ci-contre: les excréts humains doivent être considérés dans les flux de matières organiques des villes, au même titre que les biodéchets ou déchets végétaux. Tous ces «déchets» sont des sources de matière organique pour l'agriculture. Crédits : Fiammetta Ghedini - RIVA Illustrations / Ville de Paris / Grec Francilien. Source de l'image (1).

Approches sociotechniques

Comme pour d'autres services urbains (énergie, déchets...), la remise en cause environnementale des systèmes d'assainissement centralisés ne se résume pas à une question technique. Au-delà de la conception de nouveaux équipements et procédés, c'est l'organisation de l'assainissement qui est interrogée, ainsi que d'autres secteurs liés. En étudiant les systèmes d'acteurs, de valeurs et de pratiques, les approches sociotechniques contribuent à identifier les controverses: transformation des usages et des pratiques professionnelles; enjeux agronomiques; prise en compte de l'héritage urbanistique; répartition des coûts et bénéfices... Autant de dimensions à intégrer pour éclairer les accords et conflits autour de ce service urbain particulier.



Vision prospective globale

Dans une optique systémique, il convient de relier la transformation des modes de gestion des excréts avec les autres très grandes transformations requises pour le respect de la santé humaine, des limites planétaires et de la justice sociale. Avec le PIREN Seine, OCAPI a contribué à la production de scénarios de rupture, fondés sur une sobriété matérielle forte, allant plus loin que l'objectif habituel de neutralité carbone. Régime alimentaire, énergie, matériaux et produits chimiques de synthèse... Ces scénarios envisagent des solutions pour atteindre une sobriété radicale et inspirante. Ils montrent la cohérence d'ensemble de gestions alternatives des excréts humains pour une véritable transition socio-écologique.



Illustration extraite des fiches de synthèse «Deux scénario agri-alimentaires et urbains sobres pour le bassin de la Seine en 2050»: scénarios qui explorent des trajectoires de transition visant à limiter le dépassement de l'ensemble des limites planétaires: climat, biodiversité, cycles biogéochimiques, pollutions chimiques, etc.(2). Crédits : AScA.

Bibliographie

1. Barot S, Bognon S, Giacche G, Legrand M, Lehec E, Redlingshofer B, et al. Orchestrer les flux de matières organiques urbaines : une réflexion à partir du cas de la Ville de Paris. 2024. (Carnet du GREC).
2. Barles S, Barataud F, Billen G, Esculier F, Garnier J, Lumbroso S, et al. Deux scénarios agri-alimentaires et urbains sobres pour le bassin de la Seine en 2050 | Piren-Seine.
3. Atelier TouMO (Alexandre, A., Champenois, S., Grilhot, Z., Larive, E., Mbanza, E.). 2025. Etude prospective sur la gestion des matières organiques urbaines dans la métropole de Toulouse. Rapport de l'atelier professionnel de Master 2 Urbanisme et Aménagement de l'université Paris 1 Panthéon Sorbonne.
4. Adler, E et Esculier, F. 2024. Des immondices aux biodéchets. Ed. Presses des Ponts, Syctom.

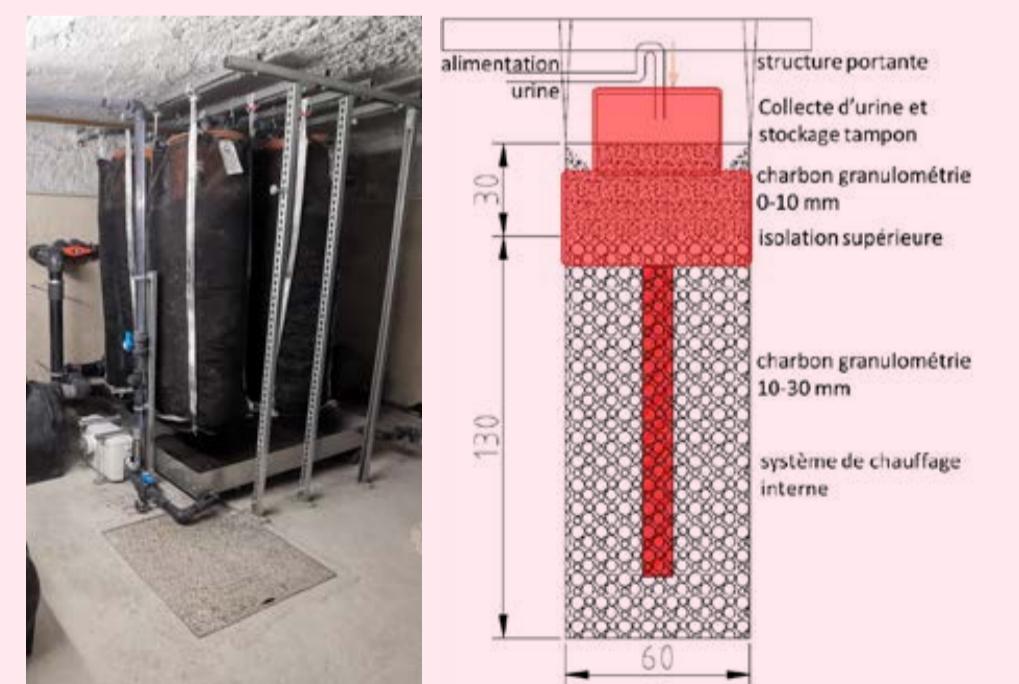


Procédés

L'objet de l'axe « Procédés » est d'étudier les techniques de transformation des excréts humains pour leur valorisation en agriculture et en particulier des urines humaines sous forme d'urino-fertilisants. Cet axe a pour ambition à la fois de recenser ces techniques à travers une veille scientifique et d'étudier expérimentalement certains de ces procédés, principalement conservatifs (c'est-à-dire qui conservent le contenu initial en écartant certains composés non souhaités (ex. eau, micropolluants). Les procédés étudiés s'articulent autour de trois enjeux majeurs: limiter la volatilisation de l'azote, concentrer les nutriments à faible coût énergétique et connaître le devenir des indésirables.

La stabilisation de l'urine: limiter les odeurs et pertes d'azote

L'azote de l'urine, excréte sous forme d'urée, est rapidement hydrolysé en ammoniac, très volatil et malodorant. La «stabilisation de l'urine» consiste donc à bloquer la volatilisation d'ammoniac pour éviter les nuisances et une baisse de la valeur fertilisante. Plusieurs procédés sont possibles, notamment inhiber l'hydrolyse de l'urée par acidification ou alcalinisation (vinaigre, chaux, cendres...) ou bien transformer l'ammoniac (NH_3) en nitrates (NO_3^-) par nitrification. La nitrification peut se faire en bioréacteur industriel ou avec des filtres low-tech, par exemple le «Pitribon» étudié actuellement par OCAPI (projet Freezepee).



A gauche: installation de 4 filtres pour un bâtiment de bureau à Sacly (91). Crédit: Louise Raguet. A droite, schéma d'un filtre de nitrification low-tech "Pitribon" développé par la Coopérative Aneco à Genève. L'urine est alimentée par le haut du filtre et traverse le charbon végétal, substrat des bactéries nitrifiantes naturellement présentes. Crédit: Aneco.

Les procédés de réduction de volume

L'eau représente environ 95% de l'urine. Concentrer les urinofertilisants permet de limiter le coût de transport et diminuer le volume de stockage tout en facilitant leur épandage, les rendant plus accessibles aux agriculteurs. La plupart des procédés de concentration imposent une première étape de stabilisation. Ils reposent sur des méthodes physico-chimiques pour séparer l'eau des nutriments présents dans les urines. Nous pouvons recenser par exemple la distillation, l'évaporation ou encore la congélation-décongélation. Les produits obtenus peuvent être solides ou liquides selon le degré de déshydratation. Ces procédés requièrent une consommation énergétique, ce qui implique une vigilance sur l'analyse de cycle de vie du produit fini.



A gauche: deux exemples d'urinofertilisants concentrés: l'un solide (Granurin) et l'autre liquide (Aurin). Crédits: Sanitation360, Vuna.

Filtration des résidus médicamenteux

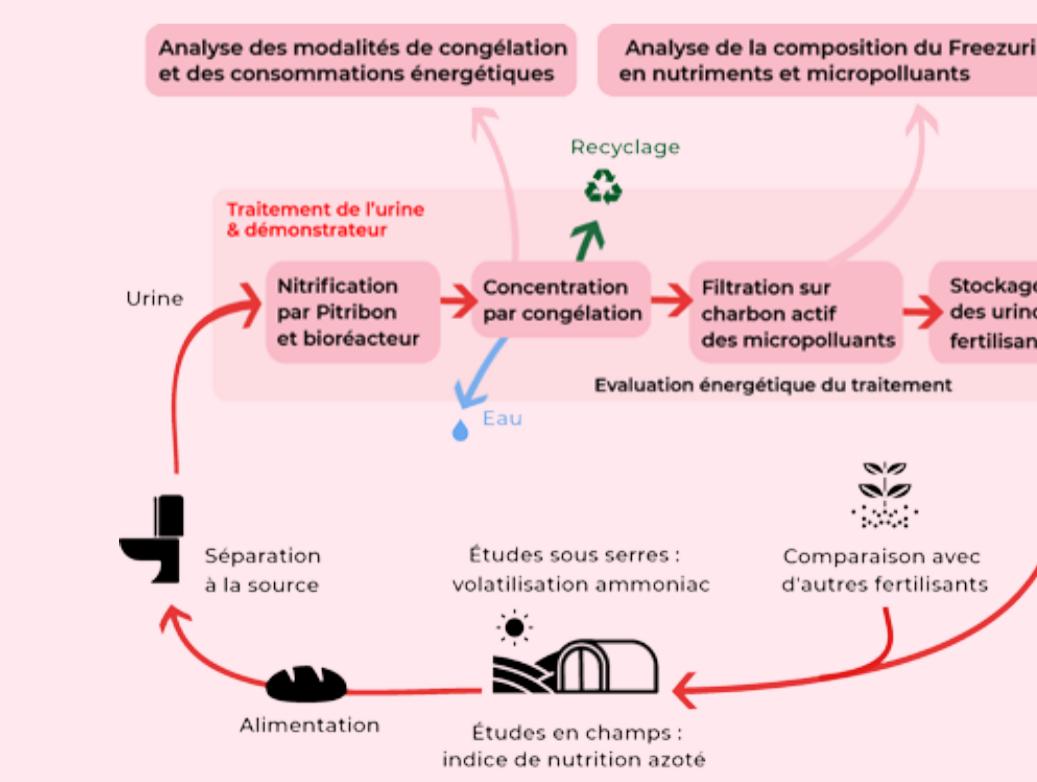
Il paraît peu probable que les indésirables apportés par les urinofertilisants engendrent un risque plus élevé que les autres intrants agricoles. Pour autant la contamination possible des urines par des résidus médicamenteux est une préoccupation importante, notamment pour le monde agricole. La présence de ces résidus peut être réduite par des procédés de filtration ou de sorption (par exemple filtre à charbon actif). Le programme Ocapa participe au projet MedUrinagri qui vise à déterminer les concentrations de résidus de médicaments, dans des urines filtrées ou non, pour évaluer notamment l'efficacité des traitements.



A gauche: filtre à charbon actif installé à l'Agence Spatiale Européenne pour réduire la concentration en micropolluants organiques, et en particulier les résidus médicamenteux, pour la production de l'urinofertilisant Aurin (installation et exploitation VunaNexus). Crédits: L. Raguet. A droite: médicaments. Crédits: L'assurance maladie

Etude de cas d'un procédé de concentration par congélation

Le projet FreezePee étudie un procédé de transformation de l'urine, incluant une stabilisation par nitrification (filtre «Pitribon»), une concentration par congélation, puis une filtration sur charbon actif. L'objectif est de quantifier les effets des différents procédés sur la composition en nutriments et en micropolluants, ainsi que leur consommation énergétique. Enfin, l'intérêt agronomique et la volatilisation ammoniacale des urinofertilisants produits seront étudiés à travers des essais au champ. Une étude comparative reprenant l'ensemble des connaissances actuelles des procédés de stabilisation et de concentration des urines viendra compléter ces analyses, en ajoutant l'évaluation de filières émergentes associées.



Principe d'étude et de comparaison des urinofertilisants issus des procédés de congélation, projet FreezePee

Bibliographie

Martin et al., 2020. Human urine-based fertilizers: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.

Martin et al., 2022. Comparative study of environmental impacts related to wheat production with human-urine based fertilizers versus mineral fertilizers, *Journal of Cleaner Production*.

Utiliser l'urine humaine en agriculture. Fiches pratiques. Agrocapa, 2022.



leesu
laboratoire eau environnement systèmes urbains

