

COLLECTE A LA SOURCE ET VALORISATION AGRONOMIQUE DES EXCRETATS HUMAINS



EXPERTISES

Synthèse

RAPPORT FINAL

Septembre 2025

REMERCIEMENTS

Antoine PIERART (ADEME)
Miriam BUITRAGO (ADEME)
Sylvain RULLIER (ADEME)
Charlotte ALIBERT (ADEME)
Bernard VIGNE (ADEME)
Thibault FAUCON (ADEME)
Jean-Christophe POUET (ADEME)
Maxime PASQUIER (ADEME)
Fabien ESCULIER (LEESU – ENPC)
Tanguy FARDET (LEESU – ENPC)
Marine LEGRAND (LEESU – ENPC)

CITATION DE CE RAPPORT

GABRIEL Andréa, MARCOUX Marie-Amélie, VINCENT Perrine, ECOGEOS, DEPORTES Isabelle, ADEME. 2025.
Collecte à la source et valorisation agronomique des excréments humains, Dossiers de synthèse. 85 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne : <https://librairie.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2023MA000319

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : ECOGEOS

Coordination technique - ADEME : DEPORTES Isabelle

Direction/Service : Service Coordination Evaluation Valorisation

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
1. INTRODUCTION.....	9
1.1. Contexte.....	9
1.1.1. Contexte général.....	9
1.1.2. Contexte scientifique	9
1.2. Panorama des filières de tri à la source et valorisation des excréments humains.....	9
1.3. Les enjeux de la valorisation des urines et des fèces.....	12
1.3.1. Les urines rejetées dans les eaux usées des systèmes d'assainissement	12
1.3.1.1. L'urine, une ressource précieuse en nutriments, essentiels pour la fertilisation des cultures	12
1.3.1.2. Une ressource diluée dans de grandes quantités d'eaux usées	12
1.3.2. Les fèces rejetées dans les eaux usées	14
1.4. Objectifs de l'étude	14
1.5. Contenu et périmètre de l'étude	14
2. DOSSIER ENVIRONNEMENTAL.....	15
2.1. Les apports potentiels de l'urine en agriculture	17
2.1.1. Apports potentiels de l'urine dans le système agricole français actuel	17
2.1.1.1. La valeur fertilisante de l'urine : quelques chiffres clés.....	17
2.1.1.2. Autonomie azotée dans le système agricole actuel	18
2.1.1.3. Substitution potentielle des engrais chimiques par l'urine.....	18
2.1.2. Autonomie azotée de la France dans le cadre d'un modèle agricole agroécologique.....	19
2.1.3. Autonomie azotée de la France dans le cadre des scénarios de la prospective ADEME de la transition 2050	20
2.2. Considérations géographiques des apports potentiels de l'urine en agriculture.....	20
2.2.1. Disparités régionales de la part de production agricole fertilisable par les urino-fertilisants	20
2.3. Economies potentielles de ressources grâce au tri à la source de l'urine	22
2.3.1. Une diminution significative des besoins énergétiques	22
2.3.3. Une diminution de la consommation en eau.....	23
2.4. Impacts environnementaux sur les milieux avec le tri à la source de l'urine	24
2.4.1. Une réduction substantielle de l'impact sur le changement climatique.....	24
2.4.2. Une limitation de l'eutrophisation des milieux	25

2.4.3.	Une diminution d'émission de particules fines	25
2.4.4.	Une augmentation limitée de l'acidification des milieux.....	26
2.5.	Des impacts sanitaires peu connus, mais globalement encourageants	26
2.5.1.	Des urines peu contaminées par des organismes pathogènes.....	26
2.5.2.	Une présence limitée d'éléments traces métalliques.....	27
2.5.3.	Des produits pharmaceutiques nombreux, à l'impact peu connu	27
2.6.	Synthèse des indicateurs environnementaux calculés au niveau national	29
3.	DOSSIER ECONOMIQUE	31
3.1.	Coûts de la séparation à la source de l'urine	33
3.1.1.	Des coûts d'investissement modérés pour la mise en place de la séparation à la source des urines.....	33
3.1.2.	Des coûts de fonctionnement limités pour la séparation à la source de l'urine	34
3.2.	Comparaison des coûts des systèmes d'assainissement : conventionnel <i>versus</i> avec tri à la source de l'urine ou des eaux noires	35
3.2.1.	Des coûts d'investissement du système d'assainissement supérieurs en cas de tri à la source des excréments humains	35
3.2.2.	Des coûts d'opération et de maintenance réduits en cas de système d'assainissement avec tri des excréments humains	36
3.2.3.	Economies attendues pour le système d'assainissement en cas de tri à la source de l'urine grâce à la réduction de l'azote à traiter	37
3.2.4.	Bilan : comparaison des coûts totaux des systèmes d'assainissement	38
3.3.	Coût évité sur le service de l'eau et de l'assainissement pour les ménages.....	38
3.4.	Coûts évités sur les engrais pour les agriculteurs.....	40
3.4.1.	Une diminution des coûts d'engrais de synthèse pour les agriculteurs	40
3.4.2.	Des coûts et intérêts variables pour les agriculteurs	40
3.5.	Coût de la dépendance à l'importation de matières fertilisantes : le tri à la source de l'urine comme composante d'une autonomie stratégique de la France	41
3.6.	Coûts de l'évitement des impacts environnementaux grâce à la séparation à la source de l'urine dans le système agricole actuel	42
3.6.1.	Coût évitable lié aux émissions de CO ₂	42
3.6.2.	Coût évitable des autres impacts environnementaux	43
3.7.	Synthèse des indicateurs économiques calculés au niveau national.....	44
4.	DOSSIER CIBLES ET FLUX PRIORITAIRES	46
4.1.	Quels systèmes techniques existants pour le tri des excréments ?	50
4.1.1.	Filière urine.....	50
4.1.1.1.	Collecte de l'urine	50
4.1.1.1.1.	Toilettes séparatives avec micro chasse d'eau	50

4.1.1.1.2.	Urinoirs masculins ou féminins.....	51
4.1.1.1.3.	Dispositifs de collecte d'appoint ad-hoc et low tech	52
4.1.1.1.4.	Autres dispositifs.....	53
4.1.1.2.	Modes de traitement de l'urine par stockage (auto-hygiénisation).....	53
4.1.2.	Filière fèces.....	53
4.1.3.	Filière eaux noires.....	54
4.1.3.1.	Filière eaux noires sans eau de chasse.....	54
4.1.3.2.	Filière eaux noires avec eau de chasse	55
4.1.4.	Filière trois flux.....	56
4.1.4.1.	Filière trois flux sans eau de chasse.....	56
4.1.4.2.	Filière trois flux avec eau de chasse	57
4.1.5.	Synthèse des filières de tri à la source des excréments humains	57
4.1.	Panorama d'expérimentations de tri à la source d'excréments humains en France et en Europe	59
4.2.	Priorisation des cibles et flux	61
4.2.1.	Cibles par type de bâtiment de production	61
4.2.2.	Cibles par type d'intervention	62
4.2.3.	Les cibles et flux en fonction des types de territoires	65
4.2.3.1.	En milieu urbain	66
4.2.3.2.	En milieu rural	67
4.2.3.3.	En milieu péri-urbain	67
4.2.4.	Cibles par région et territoire.....	67
4.2.4.1.	Régions aux apports en azote importants ou vulnérables à la pollution	68
4.2.4.2.	Régions où des besoins agricoles spécifiques sont identifiés	69
4.3.	Enjeux et leviers liés à la généralisation de la collecte et valorisation des excréments humains	69
4.3.1.	Enjeux techniques et organisationnels pour une restructuration de la filière d'assainissement.....	69
4.3.1.1.	Solutions de collecte et de traitement	69
4.3.1.2.	Enjeux logistiques et organisationnels pour le transport des urines	69
4.3.2.	Enjeux d'acceptabilité sociale autour de la collecte sélective et de la valorisation agricole des urines humaines.....	70
4.3.2.1.	L'interface usager : des changements d'habitude plus ou moins importants à prévoir	70
4.3.2.2.	Rôle des acteurs du bâtiment dans l'intégration des systèmes de séparation d'urine	71
4.3.2.3.	Acceptabilité agricole et perception des engrais issus de l'urine	71
4.3.3.	Enjeux économiques	72
4.3.3.1.	Perception des coûts par les particuliers.....	72
4.3.3.2.	Traitement des urines : équilibre entre efficacité et viabilité économique.....	73
4.3.3.3.	Répartition des coûts et pistes de financement	73
4.3.4.	Enjeux réglementaires : une évolution nécessaire du statut de l'urine	73

5. PROPOSITIONS D’ACTIONS A DEPLOYER PAR L’ADEME AUX HORIZONS 2030 ET 2050	74
5.1. Une nécessaire coordination	74
5.2. Soutien de projets pilotes à échelle intermédiaire	75
5.3. Développement de solutions de financement.....	76
5.3.1. Mise en place de Certificats d’Economie d’Energie.....	76
5.3.2. Développement d’autres solutions de financement	77
5.4. Poursuite et approfondissement de la recherche.....	77
5.5. Communication et sensibilisation	78
5.5.1. Sensibilisation du grand public	78
5.5.2. Implication des acteurs locaux.....	78
6. POUR EN SAVOIR PLUS...	79
La séparation à la source : –documents génériques	79
Pisser et ça pousse : l'urine, un engrais en or.....	79
<i>France Culture</i> - De cause à effets, le magazine de l'environnement.....	79
L'urine humaine pour une transformation écologique et sociale	79
<i>Présentation TEDx – Fabien Esculier</i>	79
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	80
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	84
SIGLES, ACRONYMES ET GLOSSAIRE	87

RÉSUMÉ DU RAPPORT

La gestion actuelle des excréments humains par le système d'assainissement conventionnel aboutit majoritairement à la destruction ou la dissipation de ressources alors même qu'elles peuvent être valorisées sous forme d'engrais agricoles, pour lesquels la France est aujourd'hui presque totalement dépendante d'importations. Aussi, la valorisation des excréments humains, notamment les urines, constitue une opportunité pour répondre à des enjeux environnementaux, économiques et agricoles. Ce rapport analyse les impacts et la faisabilité de la collecte à la source et de la valorisation agronomique des excréments à l'échelle nationale, selon trois axes : les impacts environnementaux, les impacts économiques et les cibles et flux prioritaires pour le développement de filières de valorisation à l'échelle française.

Impacts environnementaux : La valorisation des urines à l'échelle nationale pourrait réduire de 85 Mégatonnes les émissions de CO₂eq par an, économiser jusqu'à 628 millions de m³ d'eau potable et éviter le rejet dans les eaux de surface de 269 000 t d'azote par an. L'azote présent dans l'urine humaine pourrait couvrir 16 % des achats actuels d'engrais chimiques pour le secteur agricole, 30 % des besoins azotés de la production nationale de blé et 76 % de la consommation française de blé. La contamination de l'urine en produits pharmaceutiques représente un enjeu important pour le retour au sol, mais reste peu documenté et une incertitude subsiste sur le risque sanitaire associé. Ce risque n'est néanmoins pas spécifique à la séparation à la source de l'urine et existe également avec l'épandage de fumiers et de lisiers, ainsi qu'avec l'assainissement conventionnel.

Impacts économiques : Les coûts d'investissement et d'opération des systèmes de collecte et de valorisation des urines sont modérés, avec des économies potentielles réalisables par les collectivités pour l'assainissement classique, ou par les ménages et les agriculteurs. En tenant compte des économies réalisées sur le système d'assainissement conventionnel et de l'amortissement des investissements, l'impact économique de la séparation à la source des urines serait limité, estimé entre -0,2 à +1,3 milliards EUR par an. La valeur économique de l'azote contenu dans l'urine (270 millions à plus de 1 milliard d'euros) ainsi que le coût des émissions évitées de CO₂ (290 – 930 millions d'euros), d'azote dans les milieux aquatiques (30 – 70 millions d'euros) ou de particules fines (21 - 122 millions d'euros) pourraient renforcer l'intérêt économique de cette séparation à la source.

Cibles et flux prioritaires : Une diversité de systèmes techniques de collecte existe, comme les urinoirs, les toilettes sèches et les dispositifs de collecte localisés. Il ne ressort pas de solution unique adaptée à l'ensemble des contextes et un panel de solutions doit être mis en œuvre à l'échelle nationale, selon les typologies d'habitat et de territoires. Certaines solutions sont encore peu matures et nécessitent un développement. Ce rapport présente des potentielles pistes d'actions pour l'ADEME visant à développer une filière nationale de valorisation des excréments humains d'ici 2030 et 2050. Les actions que pourraient mener l'ADEME doivent être décidées en coordination avec les actions des autres agences de l'état. Un premier enjeu réside dans la nécessité de clarifier le statut des excréments humains en tant que fertilisants au niveau réglementaire. Une sensibilisation accrue des acteurs et le soutien à des projets pilotes sont par ailleurs cruciaux pour assurer l'appropriation sociale et l'équilibre économique. Les recommandations incluent également des mesures de soutien à la recherche, au développement et à l'innovation, le financement d'équipements adaptés et des programmes de sensibilisation publique ainsi que l'animation et la structuration de la filière.

SUMMARY

The current management of human excreta by the conventional sewage system leads to the destruction or dissipation of resources, even though some could be recovered in the form of agricultural fertilisers. In addition, the recovery of human excreta, in particular urine, represents an opportunity to address environmental, economic and agricultural issues. This report analyses the impacts and feasibility of collecting excreta at source and reusing it for agricultural purposes on a national scale. It is composed of 3 sections: one focusing on the environmental impact, a second on the economic impact while the third presents the technical solutions involved, including an analysis of the populations and types of excreta (urine or faeces) which should be prioritized for the development of recovery systems at a national scale.

Environmental impacts: The recovery of urine on a national scale should reduce the emissions of CO₂ by 85 Megatonnes of CO₂eq per year, save up to 628 million m³ of potable water and prevent the discharge of 269,000 t of nitrogen per year into surface waters. The nitrogen present in human urine could cover 16% of the current supply of chemical fertilisers for the agricultural sector, 30% of the nitrogen requirements for national wheat production and 76% of French wheat consumption. The contamination of urine with pharmaceutical products is a major issue in relation to its potential application to soils but remains poorly documented and there is still uncertainty around the associated health risk. However, this risk is not specific to the separation of urine at source and exists with the spreading of manure and slurry, as well as with conventional sanitation.

Economic impacts: Investment and operating costs of urine recovery systems are moderate, with potential savings achievable by local authorities, households and farmers. Considering the savings made on the conventional sanitation system and the amortisation of investments, the economic impact of the source separation of urine would be limited and is estimated at between EUR -0.2 and +1.3 billion per year. Other potential sources of savings include: The economic value of the nitrogen contained in urine (EUR 270 million to over EUR 1 billion); the social cost of avoided CO₂ emissions (EUR 290 - 930 million), prevention of water pollution (EUR 30 - 70 million) and prevention of fine particles in the air (EUR 21 - 122 million). These could reinforce the economic interest of source separation.

Technical solutions and action plan: A variety of technical collection systems exist, such as urinals, dry toilets and toilets with urine diversion. No single solution is suitable for all contexts, and a range of solutions needs to be implemented across the country, depending on the type of housing and the regional context. Some solutions are still immature and need to be developed. This report sets out possible courses of action for ADEME (the French Agency for Ecological Transition) with the aim of developing a national system for recovering human excreta by 2030 and 2050. The actions that ADEME could undertake must be decided in coordination with the actions of other state agencies. The first challenge is the need to establish the regulatory status of human excreta as fertilisers. Increasing awareness among stakeholders and supporting pilot projects are also crucial to ensuring social appropriation and economic balance. The recommendations also include measures to support research, development and innovation, the funding of appropriate equipment and public awareness programs, as well as the organization and structuring of the industry.

1. Introduction

1.1. Contexte

1.1.1. Contexte général

La circulation des flux de matières dans les systèmes socio-économiques connaît des transformations radicales depuis le XX^{ème} siècle. L'urbanisation contribue au découplage spatial de la production et de la consommation en favorisant la spécialisation de la production alimentaire à l'échelle régionale et mondiale (Barles, 2015). Si ce découplage spatial peut être avantageux, en raison des économies d'échelle, dans l'agriculture et dans l'industrie de transformation alimentaire, il présente des inconvénients sociaux et environnementaux : impacts de l'agriculture intensive (par exemple, les émissions de gaz à effet de serre ou la contamination des sols et de l'eau), diminution de la sécurité alimentaire et augmentation de la dépendance à l'égard des ressources extérieures (Hendrickson et Heffernan, 2002), altération des cycles biogéochimiques, avec des conséquences régionales et globales (Grimm *et al.*, 2008).

Les excréments humains, composés des matières fécales et des urines, représentent une composante importante des flux dans ces systèmes socio-économiques, notamment en ce qui concerne les nutriments tels que l'azote et le phosphore (Tedesco *et al.*, 2017). Actuellement en France, la collecte prédominante des effluents est réalisée au sein des réseaux d'eaux usées, pour un traitement en station d'épuration. Ces traitements visent notamment à éliminer l'azote, le phosphore et le carbone des eaux amenées à être restituées au milieu naturel. 75 % des boues sortant des stations d'épuration sont valorisées par retour au sol agricole (Starck, 2024). Elles permettent ainsi de retourner en agriculture environ la moitié du phosphore des excréments (Esculier *et al.*, 2022). A l'inverse, l'azote, un nutriment essentiel à la croissance des plantes, est largement perdu dans le milieu atmosphérique lors des traitements en STEP et n'est pas valorisé.

Le système actuel de gestion des excréments, et notamment l'utilisation courante de toilettes à évacuation liquide en mélange avec les autres eaux usées domestiques, participe à limiter la valorisation des nutriments. Ce système entraîne une dilution significative des nutriments au sein du flux collecté, notamment de l'azote (présent sous forme d'urée), du phosphore et du carbone. Une alternative prometteuse consiste à collecter les excréments humains à la source, en utilisant des toilettes séparatives ou des urinoirs, afin de contourner cette dilution et de pouvoir mettre en œuvre des traitements qui conservent les nutriments au lieu de les détruire (Martin *et al.*, 2022). Cette approche offre des perspectives pour une valorisation agricole plus efficace : valoriser les urines seules après diverses transformations ou sous forme d'urino-fertilisants, valoriser les déjections solides seules, ou en combinaison avec les urines, après un processus de compostage.

1.1.2. Contexte scientifique

La valorisation des excréments humains est l'objet d'une recherche active à l'échelle française et internationale ces dernières années. En France, les travaux de recherche portés dans le cadre du programme OCAPI, dont certains projets sont co-financés par l'ADEME, abordent depuis près de 10 ans ce sujet avec des approches disciplinaires variées, couvrant à la fois les volets environnementaux (bilans et flux de matières), agricoles, économiques, historiques et sociologiques.

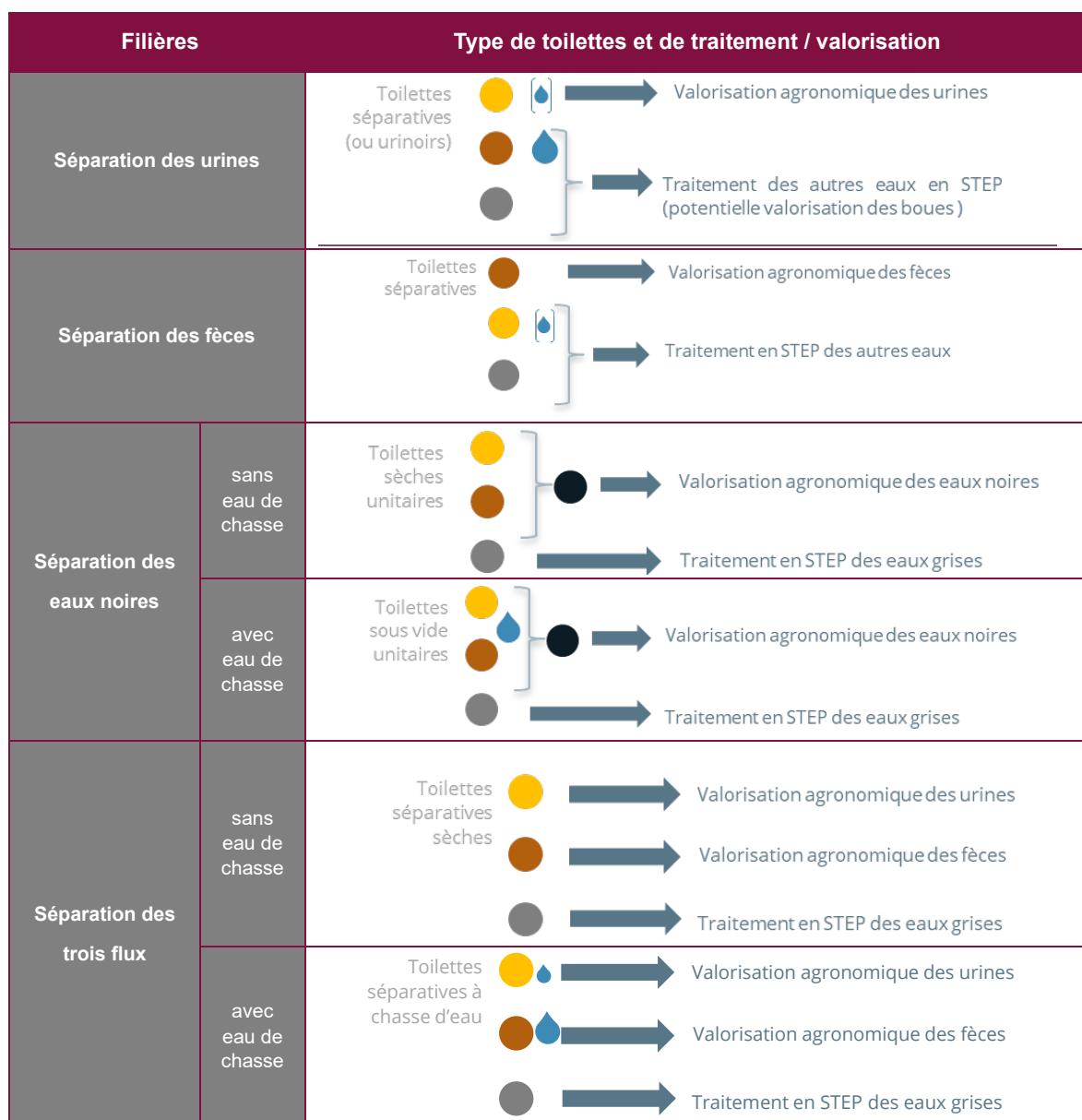
Par ailleurs, l'analyse récente des métabolismes urbains et territoriaux offre des éclairages nouveaux, en réintégrant les excréments humains dans un cadre général d'analyse des échanges de matières et d'énergie au sein des sociétés humaines. Des connaissances riches ont également été mises à jour sur l'impact environnemental de la fertilisation chimique dans le cadre de l'agriculture conventionnelle (eutrophisation des milieux aquatiques, fertilité des sols, etc.).

1.2. Panorama des filières de tri à la source et valorisation des excréments humains

Il existe plusieurs filières de séparation des excréments humains :

- La filière « **urines** », autrement nommée « eaux jaunes », consiste à collecter séparément les urines grâce à des toilettes séparatives (les fèces rejoignent les eaux grises) pour en valoriser les nutriments dans les cultures agricoles.
- La filière « **fèces** » consiste à séparer les matières fécales grâce à des toilettes séparatives. Celles-ci peuvent être valorisées par compostage ou méthanisation. Les urines rejoignent les eaux grises pour être traitées en station d'épuration.
- La filière « **eaux noires** » consiste à séparer des eaux grises à la fois les urines et les fèces. La collecte des eaux noires s'effectue soit sans eau de chasse grâce à des toilettes sèches, soit avec eau de chasse grâce à des toilettes sous-vide avec réseau sous-vide. Le mélange urine-fèces peut subir une valorisation par méthanisation ainsi que par retour au sol du digestat.
- La filière « **trois flux** » consiste à séparer les urines, les fèces et les eaux grises grâce à des toilettes séparatives sèches. Les urines peuvent être valorisées comme fertilisant et les fèces comme matière amendante après compostage/méthanisation, alors que les eaux grises sont traitées en station d'épuration.

La Figure 1 résume les principales filières de séparation des excréments humains existantes. Ces filières sont présentées de façon plus détaillée en partie [Dossier cibles et flux prioritaires](#) et pour la plupart, illustrées par des retours d'expérience en Europe et rattachées à des contextes d'utilisation (types de bâtiments et de territoires).



Légende :

- Eaux jaunes** : urine avec ou sans eau de chasse
- Eaux brunes** : fèces avec eau de chasse
- Eaux noires** (= eaux vannes) : urine, fèces, eau de chasse
- Eaux grises** (= eaux ménagères) : eau d'évier-lavabo, douche, lave linge, lave-vaisselle
- Apport d'eau de chasse d'eau important
- Apport d'eau de chasse d'eau éventuel et limité

Figure 1 : Filières de tri à la source des excréments humains (d'après Legrand et Esculier, 2021)

1.3. Les enjeux de la valorisation des urines et des fèces

1.3.1. Les urines rejetées dans les eaux usées des systèmes d'assainissement

1.3.1.1. L'urine, une ressource précieuse en nutriments, essentiels pour la fertilisation des cultures

L'urine constitue une ressource précieuse en termes de nutriments. En effet, une grande partie des nutriments que nous ingérons sont excrétés par l'urine. Dans les sociétés occidentales, l'urine produite par un humain en un an contient en moyenne 4,6 kg d'azote et 550 g de phosphore (Martin, 2020), ainsi que du potassium, du soufre, du calcium, du magnésium et des oligo-éléments.

Ces nutriments sont fondamentaux pour la production agricole. Actuellement, ils sont principalement apportés aux cultures sous forme de fertilisants chimiques, dont la production et l'utilisation ont un impact environnemental non négligeable. La valorisation de l'urine pourrait donc offrir une alternative durable à ces intrants chimiques, contribuant ainsi à une agriculture plus respectueuse de l'environnement.

1.3.1.2. Une ressource diluée dans de grandes quantités d'eaux usées

La production d'urine par individu est relativement faible en volume, avec une moyenne d'environ 1,3 L par jour, soit 0,5 m³ par an (Friedler *et al.*, 2013). Ce chiffre est à mettre en perspective avec la consommation moyenne d'eau en France pour la chasse d'eau, qui est en moyenne de 33 litres par habitant par jour, soit 12 m³ par habitant et par an. Par rapport à la consommation totale des ménages (55 m³/habitant/an) la chasse d'eau représente donc environ 20 % de la consommation. L'hygiène corporelle (bains et douche) occupe le premier poste avec 40 % de la consommation totale.

Ainsi, l'urine, dans le système d'assainissement actuel, est diluée dans des volumes considérables d'eau. En station d'épuration, l'urine représente seulement 1 % du volume des eaux usées mais concentre 80 % de l'azote et 50 % du phosphore de ces eaux usées (Larsen *et al.*, 2007).

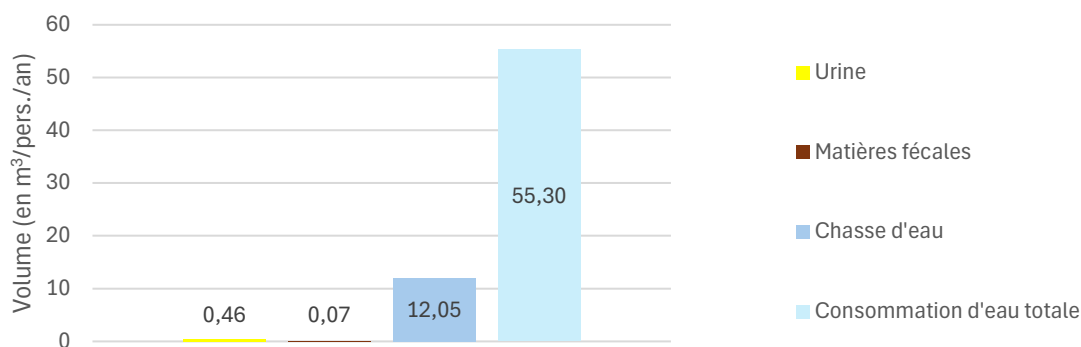


Figure 2 : Comparaison des volumes produits par Français, en m³ par an et par habitant (source : Friedler *et al.* 2013, Agrocapi, 2022, Sispea 2021)

1.3.1.3. Les nutriments gaspillés par le système d'assainissement actuel

La dilution de l'urine et des fèces limite leur valorisation et génère un gaspillage important. En effet, dans le système d'assainissement actuel en France, les nutriments sont peu ou mal valorisés.

Les stations d'épuration sont conçues pour dépolluer les eaux usées, notamment en transformant les composés azotés dissous en azote atmosphérique, l'objectif premier étant de limiter la pollution diffuse des cours d'eau (Besson *et al.*, 2020). L'azote transformé en azote atmosphérique ne peut ainsi pas être valorisé.

La réglementation impose que 70 % de l'azote soit extrait des eaux usées par les stations d'épuration¹. Dans les faits, 40 % de l'azote est encore perdu dans le milieu, 50 % est transformé en azote atmosphérique, et seul 10 % est valorisé en agriculture (Starck et al., 2024a). Il existe des perspectives d'amélioration de la valorisation de l'azote en station d'épuration mais même les meilleures techniques disponibles aujourd'hui ne permettent pas de dépasser 30 % de valorisation de l'azote (Besson, 2020).

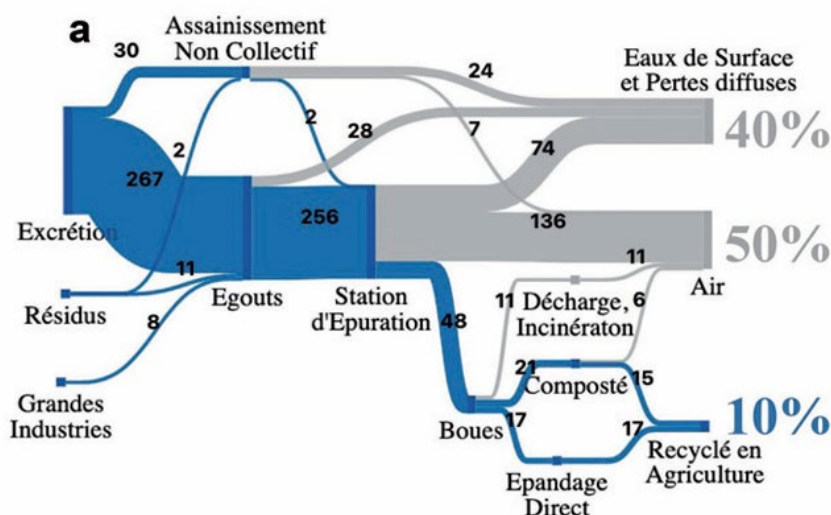


Figure 3 : Bilan azote des stations d'épuration françaises (Starck et Esculier, 2024)

A l'inverse, 80 % du phosphore est précipité dans les boues d'épuration, dont 60 à 70 % sont épanchées dans les champs (Beaud, 2023), ce qui contribue donc à une valorisation de 50 % du phosphore issu des excréments (Starck et al., 2024b).

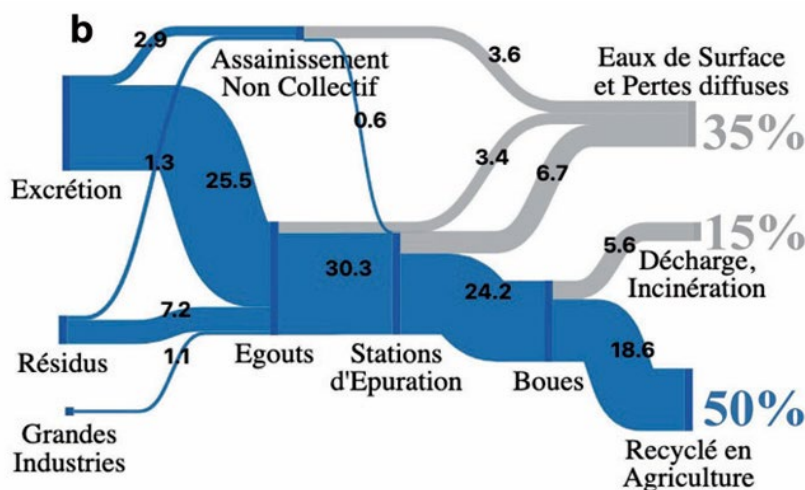


Figure 4 : Bilan phosphore des stations d'épuration françaises (Starck, Esculier, 2024)

Le potassium est principalement excrété par l'urine chez l'humain : environ 75 % du potassium ingéré est éliminé par les reins et donc via les urines, le reste étant excrété dans les fèces. Le potassium, non traité en STEP, est ensuite quasiment intégralement rejeté au milieu naturel.

D'autres nutriments également essentiels à la croissance des plantes, mais à des concentrations moins importantes, peuvent être présents dans les excréments. Le calcium, le magnésium, le cuivre et le zinc

¹ https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000042419288

sont principalement excrétés par les fèces, alors que le potassium et le soufre sont excrétés majoritairement par l'urine (Besson *et al.*, 2021).

1.3.2. Les fèces rejetées dans les eaux usées

La collecte à la source et valorisation des fèces présente des bénéfices potentiels importants en termes de santé publique et du point de vue économique (Minier, 2023).

L'assainissement conventionnel génère une pollution des cours d'eau, que cela soit par l'évacuation d'eaux traitées en sortie de STEP ou par rejet d'eaux usées non traitées par exemple en cas d'orage. Les impacts sont multiples : interdiction de la baignade, contamination des huîtres par des virus responsables de la gastro-entérite, etc.). Cette pollution en agents pathogènes peut également contaminer les sources d'eaux potables.

La séparation à la source des fèces pourrait permettre d'améliorer la qualité des cours d'eaux en limitant les rejets dans les milieux aquatiques. Néanmoins, les matières fécales collectées devront faire l'objet d'un traitement hygiénisant préalable à leur retour au sol.

1.4. Objectifs de l'étude

Les informations relatives à l'intérêt et la faisabilité de la collecte à la source et valorisation agronomique des excréments humains sont aujourd'hui disséminées dans de nombreux articles scientifiques ou rapports institutionnels (par exemple : OMS, 2012).

L'ADEME anticipe un bénéfice environnemental, agronomique et économique pour la collecte séparée et la valorisation des excréments humains. Toutefois, l'agence ne dispose pas de synthèse lui permettant d'étayer ce postulat et d'établir un plan d'action sur la thématique de la valorisation agricole des excréments humains.

1.5. Contenu et périmètre de l'étude

Ce rapport comporte trois dossiers synthétiques permettant d'évaluer l'intérêt et la faisabilité de la collecte à la source et valorisation agronomique des excréments humains à l'échelle nationale (hexagonale et outre-mer). Ces trois dossiers ne couvrent pas le même périmètre (urines et/ ou fèces) du fait de manque de données et de choix de l'ADEME :

- Le **dossier environnemental** se focalise sur la filière urine. Il fournit une estimation des bénéfices environnementaux, à l'échelle nationale, de la collecte à la source et valorisation agronomique des urines et décrit les risques associés.
- Le **dossier économique** prend en compte deux filières : la filière urine, ainsi que la filière eaux noires (urine et fèces en mélange). Il estime les coûts/économies associés à cette mise en œuvre à l'échelle de la France, pour les particuliers, les collectivités et les agriculteurs.
- Le **dossier cibles et flux** analyse les cibles et flux possibles et prioritaires pour le développement des différentes filières à l'échelle française dans les années à venir et présente un plan d'action.

La filière de valorisation de l'urine, traitée au sein des deux premiers dossiers, consiste en une collecte séparée (grâce à des toilettes séparatives), un traitement par stockage (pour hygiénisation) et une valorisation par fertilisation des cultures agricoles. Cette filière avec stockage seul, à l'exclusion d'autres modes de traitement a été choisie en raison de son impact environnemental favorable (Martin *et al.*, 2023). En complément, la filière eaux noires (urines + fèces collectées ensemble) est prise en compte dans le dossier économique.

2. Dossier environnemental

RÉSUMÉ DU DOSSIER ENVIRONNEMENTAL

La collecte séparée des urines présente plusieurs bénéfices sur le plan environnemental. Une agriculture utilisant des urino-fertilisants a des impacts environnementaux plus faibles qu'une agriculture basée sur les fertilisants minéraux, émissifs en gaz à effet de serre et intensifs en ressources. La collecte des urines pourrait couvrir 30 % des besoins azotés de la production nationale de blé et jusqu'à 76 % de la consommation française. En couplant la collecte des urines avec un modèle agricole agroécologique, il serait possible d'atteindre 100 % d'autonomie azotée à l'échelle nationale.

La couverture des consommations actuelles de l'agriculture serait néanmoins très hétérogène entre territoires : les régions céréalières présentent aujourd'hui des consommations en azote très importantes, dépassant largement les apports que pourraient couvrir les urines produites localement. Les principaux défis concernent l'organisation logistique de la collecte.

La séparation à la source des urines contribuerait par ailleurs à une protection de la ressource en eau, en diminuant de manière significative la pollution azotée des eaux de surface et par extension les phénomènes d'eutrophisation ou de marées vertes. Le traitement des urines en station d'épuration est également émissif en gaz à effet de serre (protoxyde d'azote) ce qui induit une deuxième contribution positive de la séparation à la source en termes de baisse des émissions de gaz à effet de serre.

La contamination de l'urine en produits pharmaceutiques représente un enjeu important pour le retour au sol. Si la séparation à la source de l'urine permet de limiter la part qui est reversée directement dans les cours d'eaux, la question du traitement de ces produits reste un enjeu de santé publique important, quel que soit le mode d'assainissement choisi.

Chiffres clés

- Économie d'énergie : diminution de la consommation de 8,9 GWh/an (19 % de la consommation énergétique agricole)
- Economie de ressources fossiles (pour la production d'engrais azotés) et minières (production d'engrais phosphatés) : jusqu'à 70 % de diminution
- Diminution de l'impact sur le changement climatique (évitement de 85 MT eq. CO₂, correspondant à 8 % de l'impact total de l'agriculture française)
- Réduction de l'eutrophisation : diminution des rejets d'azote (- 107 528 t N/an) et de phosphore (- 7 955 t P/an) dans les milieux aquatiques
- Importantes économies des ressources en eau, grâce à la réduction des chasses d'eau (jusqu'à 628 millions m³/an, soit 18 % de l'utilisation d'eau des ménages). En comparaison, l'ensemble de l'eau prélevée pour l'irrigation en agriculture est évalué à 3 milliards de m³ par an.

SUMMARY OF THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Source separated collection of urine has several environmental benefits. Agriculture using urino-fertilisers has a lower environmental impact than agriculture based on mineral fertilisers, which emit greenhouse gases and are resource-intensive. Collecting urine could cover 30% of the nitrogen requirements of national wheat production and up to 76% of French consumption. By combining urine collection with an agro-ecological farming model, it would be possible to achieve 100% nitrogen autonomy on a national scale.

However, the extent to which current agricultural consumption is covered varies greatly from one region to another: e.g. cereal-growing regions currently consume significant quantities of nitrogen, far exceeding the amount that could be covered by locally produced urine. The main challenges concern the logistical organisation of collection.

Source separation of urine would also help the protection of water resources, by significantly reducing nitrogen pollution of surface waters and, by extension, the phenomena of eutrophication or algal blooms. Urine treatment at wastewater treatment plants also emits greenhouse gases (nitrous oxide), thereby providing a second benefit of source separation, namely a reduction in greenhouse gas emissions.

The contamination of urine with pharmaceutical products is a major issue in relation to its potential application to soils. While urine separation at source makes it possible to limit the proportion that is discharged directly into watercourses, the question of how to treat these products remains a major public health issue, regardless of the sanitation method.

Key figures

- Energy savings: reduction of 8,9 GWh/year (19 % of agricultural energy consumption)
- Savings of fossil fuel to produce nitrogen fertilisers and mining resources (mainly phosphates): up to 70% less compared to current levels
- Reduced impact on climate change (avoidance of 85 MT CO₂eq., corresponding to 8% of the total impact of French agriculture)
- Reduced eutrophication: - 107 528 t N/year and - 7 955 t P/year discharged into aquatic environments
- Significant savings of water resources, through reduced flushing (up to 628 million m³/year, or 18% of household water use). In comparison, the total water withdrawn for agricultural irrigation is estimated at 3 billion m³ per year.

Ce dossier vise à identifier les conséquences environnementales d'un tri à la source de l'urine réalisé à l'échelle française.

Pour rappel, la **filière urine** considérée consiste à collecter les urines séparément des eaux usées grâce à des toilettes séparatives, puis à les traiter par stockage (permettant l'hygiénisation) et enfin à les valoriser pour fertiliser les cultures agricoles.

Peu d'études présentent une approche complète et exhaustive de l'impact environnemental de cette filière spécifique. Ce dossier repose en premier lieu sur une Analyse de Cycle de Vie réalisée à l'échelle d'un territoire francilien (Martin *et al.*, 2023), qui considère la collecte d'un nouveau quartier d'un millier d'habitants et la valorisation de l'urine triée à la source pour la production de blé. Il s'appuie également sur les travaux de Starck (2024), réalisés à l'échelle de la France métropolitaine. Sur la base de ces données, ainsi que de calculs complémentaires, des extrapolations ont été réalisées à l'échelle nationale pour évaluer l'impact environnemental du tri à la source de l'urine. Ces extrapolations présentent de nombreuses incertitudes, ce qui implique de considérer ces résultats avec précaution.

2.1. Les apports potentiels de l'urine en agriculture

2.1.1. Apports potentiels de l'urine dans le système agricole français actuel

2.1.1.1. La valeur fertilisante de l'urine : quelques chiffres clés

L'urine est un fertilisant qui permettrait dans le système agricole actuel de produire une quantité substantielle de nourriture.

A l'échelle française, l'urine produite par l'ensemble des habitants correspond à l'équivalent des apports en azote de 30 % de la production de blé annuelle et l'azote contenu dans l'urine produite par une personne chaque jour permet de produire le blé pour 2 baguettes de pain. Le Tableau 1 présente les modalités de calcul. L'export de blé représentant une part importante de la production de blé nationale, il est à noter que l'azote contenu dans l'urine permettrait de fertiliser près de 76 % de la consommation de blé des Français.

Production de blé fertilisable en azote par les urino-fertilisants		30 %
		10 882 067 t / an
Consommation de blé fertilisable en azote par les urino-fertilisants		76 %
Nombre de baguettes qui pourraient être produites par du blé fertilisé en azote par les urino-fertilisants		2 baguettes par jour par personne
Éléments considérés	Production de blé en France 36 364 319 t / an Seuls les apports en azote sont considérés ici car il s'agit du facteur limitant. Les chiffres moyens de production d'urine par habitant et de leur contenu sont rapportés aux apports usuels d'azote sur culture de blé (180 unités N/ha), aux rendements observés pour la production agricole actuelle (basée sur un modèle conventionnel) et aux tonnages totaux de production et de consommation de blé en France. Pour le calcul du nombre de baguettes fertilisées par les urino-fertilisants, il est considéré qu'une baguette pèse 250 g, qu'elle contient 170 g de farine de blé soit 230 g de blé (100 g de blé permet d'obtenir 75 de farine de blé)	
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution.	
Sources d'information	(FranceAgriMer, 2023) : production et export de blé (Martin <i>et al.</i> , 2023) : chiffres de référence sur la production d'urine + apports sur blé	

Tableau 1 : Part des apports d'azote de la production de blé pouvant être couverts par l'azote contenu dans l'urine des Français

2.1.1.2. Autonomie azotée dans le système agricole actuel

La comparaison entre les apports d'engrais azotés dans l'agriculture française et la production actuelle d'azote sur le territoire (hors importations) fait apparaître une très faible autonomie actuelle de l'agriculture française, de l'ordre de 12 %. En cas de valorisation de l'urine produite par les Français, l'autonomie en azote de la France rapportée à l'ensemble de l'azote mobilisé pour les cultures serait plus que doublée, pouvant atteindre 28 % de l'azote utilisé (cf. Tableau 2).

Autonomie azotée de la France dans le système agricole actuel		Sans séparation à la source de l'urine (situation actuelle)	Avec séparation à la source de l'urine
		12 %	28 %
Eléments considérés	Les sources d'azote locale (fixation symbiotique sur terres arables, déposition atmosphérique, épandage de boues de STEP, produits de la mer) sont comparées à l'ensemble de l'azote mobilisé, incluant ces derniers ainsi que les engrais de synthèse hors prairies et les imports nets de fourrage. La séparation à la source de l'urine représente donc une source d'azote parmi d'autres contribuant à l'autonomie de la France. Elle permet une augmentation de l'autonomie de 14 points.		
Sources d'information	(UNIFA, 2024), (Billen <i>et al.</i> , 2021), (Starck <i>et al.</i> , 2024a)		

Tableau 2 : Autonomie azotée de la France dans le cadre du système agricole actuel

2.1.1.3. Substitution potentielle des engrais chimiques par l'urine

La comparaison de la consommation de fertilisants et de la production d'urine au niveau national fait apparaître que les urines représentent une quantité significative des principaux nutriments, actuellement apportés aux cultures par des engrais chimiques. Ainsi, **l'azote contenu dans l'urine représente près de 16 % des achats d'engrais de synthèse azotés** par les agriculteurs français. Pour le phosphore et le potassium, ce pourcentage s'élève à 23 % et 33 %, respectivement (cf. Tableau 3).

Nutriment considéré	Quantité de nutriments contenue dans l'urine des Français (t/an)	Achat de fertilisants de synthèse par les agriculteurs français (t/an)	Part des achats de fertilisants pouvant être couverts par la production d'urine
Azote (N)	268 820	1 719 448	16 %
Phosphore (P)	22 728	98 449	23 %
Potassium (K)	61 096	185 854	33 %
Eléments considérés	Les chiffres moyens de production d'urine par habitant et de leur contenu sont comparés aux chiffres de vente de fertilisants chimiques produits par l'UNIFA en 2023. Pour la production de blé potentiellement fertilisée grâce à l'urine, les chiffres moyens de production d'urine par habitant et de leur contenu sont rapportés aux apports usuels sur culture de blé (180 unités N/ha), aux rendements observés pour la production agricole actuelle (basée sur un modèle conventionnel) et aux tonnages totaux de production et de consommation de blé en France.		
Sources d'information	Martin <i>et al.</i> , 2023 ; UNIFA, 2024 : chiffres de référence sur la production d'urine + apports sur blé		
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution. Ces chiffres sont par ailleurs à nuancer en tenant compte des modifications nécessaires du modèle agricole ainsi que du transport des urines jusqu'aux parcelles agricoles (Considérations géographiques des apports potentiels de l'urine en agriculture).		

Tableau 3 : Comparaison des nutriments (N, P et K) contenus dans l'urine produite par l'ensemble des Français et dans les fertilisants de synthèse utilisés par les agriculteurs français

2.1.2. Autonomie azotée de la France dans le cadre d'un modèle agricole agroécologique

Les chiffres présentés ci-avant représentent un taux de couverture minimum des besoins agronomiques : en effet, le système agricole français présente aujourd'hui une très faible efficacité d'utilisation des nutriments.

Différentes pistes pourraient permettre d'améliorer l'autonomie azotée de la France. Une solution consisterait à recentrer l'agriculture sur les besoins alimentaires des Français plutôt que sur l'exportation. En effet, si comme mentionné plus haut, la valorisation de l'urine des Français ne peut couvrir que 30 % des besoins de la production de blé française, elle permettrait de couvrir 76 % de la consommation de blé des Français.

La France est en effet un pays largement exportateur de matières agricoles. Il a été montré que les pays les plus exportateurs de denrées alimentaires sont aussi les plus consommateurs en azote : l'excédent de production par rapport aux besoins nationaux est obtenu par l'import d'énergies fossiles (Starck, 2024). Par ailleurs, une amélioration significative de l'autonomie azotée ne pourrait se dispenser d'une refonte profonde du régime alimentaire ainsi que du modèle agricole. Aujourd'hui, une part importante des cultures (64 % de la Surface Agricole Utile française en 2023) est mobilisée pour la production d'alimentation animale : l'azote ingéré par les humains provient à près de 70 % de produits animaux (Le Noë *et al.*, 2017). L'augmentation de la part des protéines végétales dans l'alimentation humaine permettrait d'améliorer significativement l'efficacité d'utilisation de l'azote (Starck *et al.*, 2024a).

Dans le cas d'un modèle agro-écologique, tel que défini dans le Tableau 4 (reposant sur l'agriculture biologique, la reconnexion de l'agriculture à l'élevage, et une alimentation humaine riche en protéines végétales) il a été montré que l'autonomie en azote de la France pourrait se rapprocher de 100 % (Garnier *et al.*, 2023).

La valorisation des excréats humains jouerait un rôle important dans cette autonomie, en contribuant à 30 - 40 % des apports en azote (Starck, 2024). Ces apports devraient être complétés par le développement d'autres modes de captation de l'azote, comme la fixation symbiotique par la culture de légumineuses (cf. Tableau 4).

Autonomie azotée de la France dans le cadre d'un modèle agro-écologique		Sans séparation à la source de l'urine	Avec séparation à la source de l'urine
		60 – 70 %	100 % dont 30 à 40 % grâce à l'urine
Autonomie azotée de la France dans le système agricole actuel (rappel)		12 %	28 %
Eléments considérés	Le modèle agro-écologique est défini par la combinaison de trois aspects (Garnier <i>et al.</i>, 2023) : - La généralisation de l'agriculture biologique (suppression complète des fertilisants industriels) avec une rotation longue et diversifiée des cultures - La reconnexion de l'agriculture avec l'élevage pour une consommation locale des productions fourragères de légumineuses par le bétail - La généralisation de l'alimentation humaine riche en protéines végétales (légumineuses) - 65%		

Tableau 4 : Autonomie azotée de la France dans le cadre d'un modèle agro-écologique

2.1.3. Autonomie azotée de la France dans le cadre des scénarios de la prospective ADEME de la transition 2050

La prospective ADEME Transition 2050, qui vise à conduire la France vers une neutralité carbone (ADEME, 2021) présente 4 scénarios contrastés à l'horizon 2050. Si cette prospective ne mentionne pas explicitement l'enjeu de l'autonomie azotée, les hypothèses mobilisées permettent de calculer l'autonomie azotée dans chacun des scénarios (cf. Tableau 5). Ainsi, les scénarios ADEME permettent tous, à part le scénario 4 (le plus technologique), une augmentation de l'autonomie azotée.

Ces scénarios n'envisagent pas la séparation à la source de l'urine, mais chaque scénario peut être amendé en intégrant la valeur fertilisante de l'urine humaine. Par exemple, dans le cas du scénario 2 (coopération territoriale), l'autonomie azotée atteindrait 63 %, en tenant compte de l'apport de l'urine.

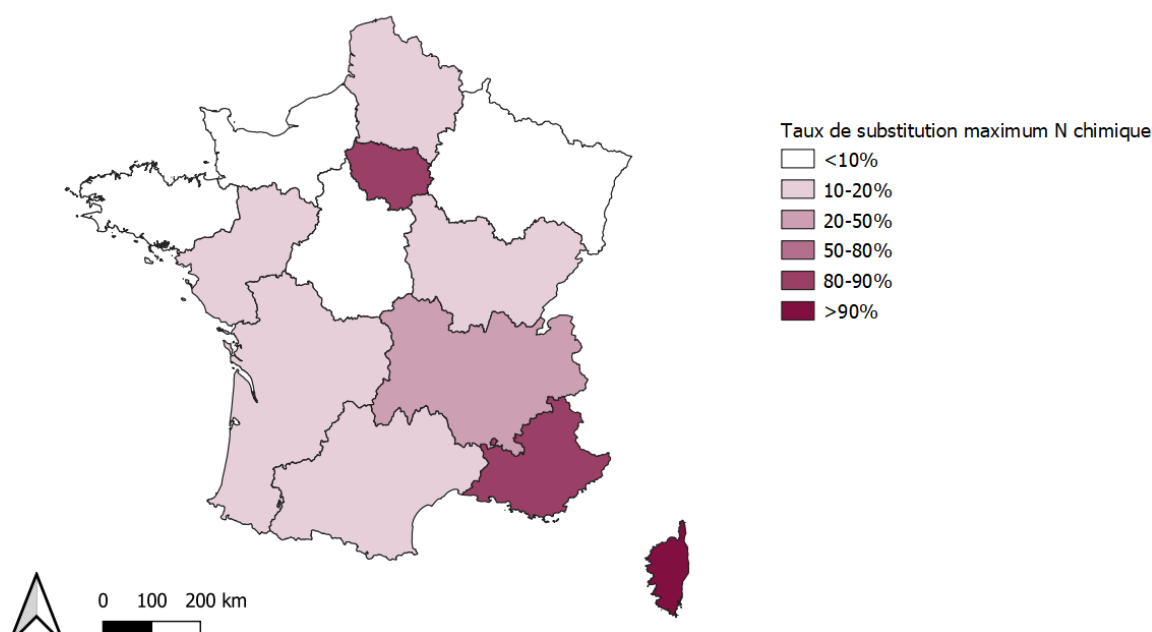
Autonomie azotée de la France dans le cadre des scénarios ADEME Transitions 2050		Sans séparation à la source de l'urine	Avec séparation à la source de l'urine
1 - Génération frugale Limitation de la construction, rénovation rapide et modification d'ampleur des modes de vie		34 %	50 %
2 - Coopérations territoriales Rénovation massive, évolution graduelle mais profonde des modes de vie		50 %	63 %
3 - Technologies vertes Rénovation massive et déconstruction-reconstruction		24 %	37 %
4 - Pari réparateur Efficacité énergétique et innovation technique		12 %	26 %
Tendanciel Référence sans évolution notable des pratiques de construction		15 %	33 %
<i>Autonomie azotée de la France dans le système agricole actuel (rappel)</i>		12 %	28 %
Éléments considérés	Seuls les apports en azote sont considérés ici car il s'agit du facteur limitant. Les chiffres moyens de production d'urine par habitant et de leur contenu sont rapportés aux apports usuels d'azote sur culture de blé (180 unités N/ha), aux rendements observés pour la production agricole actuelle (basée sur un modèle conventionnel) et aux tonnages totaux de production et de consommation de blé en France. Les ratios et valeurs du scénario prospectif ADEME ont été pris en compte, et redressés de manière à être mis en cohérence avec les présents calculs.		
Sources d'information	(FranceAgriMer, 2023) : production et export de blé ; (Martin et al., 2023) : chiffres de référence sur la production d'urine + apports sur blé Autonomie azotée de la France dans un scénario agroécologique : (Garnier et al., 2023) Part de l'urine dans les apports d'azote dans un scénario agroécologique (Starck, 2024) Prospective ADEME Transitions 2050 (ADEME, 2021)		

Tableau 5 : Autonomie azotée de la France dans le cadre des scénarios ADEME Transition 2050

2.2. Considérations géographiques des apports potentiels de l'urine en agriculture

2.2.1. Disparités régionales de la part de production agricole fertilisable par les urino-fertilisants

La comparaison des apports d'azote et de la production d'urine à l'échelle régionale fait apparaître des différences significatives entre les territoires (cf. Figure 5). Le taux de substitution correspond à la part des achats de fertilisants azotés de synthèse potentiellement substituables par la production d'urine des Français.



Données calculées en comparant pour chaque région, la quantité d'azote chimique achetée par les agriculteurs (UNIFA, 2024) et l'azote contenu dans l'urine des Français, selon la méthodologie présentée dans le *Tableau 3*.

Figure 5 : Part maximale des apports d'azote chimique en agriculture fertilisables par des apports d'urine

Certaines régions présentent des apports très supérieurs au gisement d'urine, comme le Centre-Val de Loire, la Normandie ou le Grand Est. Dans d'autres comme l'Île-de-France ou la Région Sud (anciennement Provence Alpes Côte d'Azur), qui présentent une population plus importante ou une agriculture moins consommatrice en azote, une part plus importante des apports pourrait être couverte.

2.2.2. Des urines valorisables à distance raisonnable des lieux de production

Les analyses de cycle de vie discutées plus haut suggèrent que le bénéfice environnemental des engrais à base d'urine dépend de la distance à parcourir pour leur transport jusqu'au champ agricole (Martin et al. 2023a). En effet, l'azote présent dans l'urine est bien moins concentré que dans des engrais chimiques, impliquant des volumes plus importants à transporter. Il est possible d'augmenter la concentration en azote de l'urino-fertilisant, mais les procédés techniques s'avèrent souvent très énergivores, dépassant la consommation d'énergie pour le transport sur de courtes distances.

Néanmoins, les travaux de Starck (2024) ont montré que la grande majorité des urines pourraient être valorisées à des distances faibles, ne nécessitant pas de transformation de l'urine (cf. *Tableau 6*). En considérant le système agricole actuel, les lieux de production des excréments humains se situent en moyenne à 25 km d'un champ à fertiliser, 70 % des excréments peuvent être épandues sur une parcelle agricole dans un rayon de moins de 10 km, et 50 % peuvent l'être à moins de 3 km.

Distance moyenne entre le lieu de production de l'urine et la parcelle agricole fertilisable		25 km
Part de l'urine pouvant être épandue à moins de 10 km de son lieu de production		70 %
Part de l'urine pouvant être épandue à moins de 3 km de son lieu de production		50 %
Sources d'information	(Starck, 2024)	

Tableau 6 : Distance entre le lieu de production et le lieu de valorisation de l'urine

À noter par ailleurs que les scénarios ci-dessus (cf. Autonomie azotée de la France dans le cadre des scénarios de la prospective ADEME de la transition 2050) considèrent une répartition constante de la population à l'échelle nationale. Dans l'hypothèse d'une dé-métropolisation et un rééquilibrage territorial de la population à l'échelle française, le tri à la source de l'urine serait favorisé par la réduction des distances entre lieux de production et lieux de valorisation de l'urine.

Une partie de ces échanges pourraient s'organiser dans le cadre de filières citoyennes locales, comme des AMAP². Ces associations citoyennes favorisant une relation en circuit court entre producteurs et consommateurs représentent une piste pour la collecte et la valorisation locale des urines, à l'instar des compostages locaux de biodéchets. Cette organisation est notamment étudiée dans le cadre du projet Enville³, en Ile de France. L'impact environnemental de ce type de système n'a pas été étudié à ce jour mais les transports d'urine viennent ici remplacer un trajet actuellement à vide (retour à l'exploitation de l'agriculteur) donc le bilan est probablement positif.

2.3. Economies potentielles de ressources grâce au tri à la source de l'urine

2.3.1. Une diminution significative des besoins énergétiques

La production d'engrais chimiques demande de grandes quantités d'énergie : la production d'engrais azotés notamment, réalisée principalement par le procédé Haber-Bosch qui permet d'extraire l'azote atmosphérique grâce à l'utilisation de ressources fossiles, est extrêmement énergivore : à l'échelle française, **la consommation d'énergie liée au procédé Haber-Bosch s'élève à 15 GWh par an**. La production d'engrais phosphatés, bien que moins énergivore, exige de l'énergie pour l'exploitation des mines de phosphate, le raffinage et le transport. De l'énergie est également dépensée pour le traitement des eaux usées au niveau des stations d'épuration.

Une partie de cette demande énergétique pourrait être réduite grâce à la valorisation de l'urine. En prenant en compte la diminution de la production d'engrais, dont ceux issus du procédé Haber-Bosch, mais également l'extraction de phosphate des mines, ainsi que l'impact évité sur le système d'assainissement et en intégrant les dépenses énergétiques supplémentaires liées aux infrastructures et au transport de l'urine, on estime un **gain énergétique potentiel de 8,9 GWh/an** (cf. Tableau 7). Ce chiffre représente une économie de **19 % de la consommation totale d'énergie du secteur agricole français** (basé sur Martin *et al.*, 2023). Ainsi, les dépenses supplémentaires pour le transport et l'épandage de l'urine seraient largement compensées par les économies réalisées sur la production d'azote chimique et les économies réalisées au niveau du traitement des eaux.

Economies potentielles d'énergie du secteur agricole		8,9 GWh /an soit 19 % de la consommation totale d'énergie du secteur agricole français
Eléments considérés	Gain énergétique potentiel : les résultats de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023), dont l'unité fonctionnelle est le kg de blé produit, ont été rapportés à la production totale de l'urine des Français. Ce chiffre a été rapporté à la consommation d'énergie totale du secteur agricole	
Sources d'information	Martin <i>et al.</i> (2023), International Energy Agency (2023) K.H.R. Rouwenhorst, Ammonia Production Technologies (2020) Friedler <i>et al.</i> (2013)	
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution. La validité des calculs basés sur l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023) est par ailleurs limitée par la sensibilité aux distances de transport. Des calculs supplémentaires relatifs à la sensibilité des transports ont été réalisés par Starck (2024) et indiquent une amélioration des résultats de l'ACV (cf. Des urines valorisables à distance raisonnable des lieux de production.). En outre, les données ne concernent que la production de blé, et non l'ensemble des productions agricoles.	

² Cf. l'exemple de l'AMAP de Châtillon : <https://ecoledesponts.fr/inauguration-premier-point-apport-volontaire-urine-de-france>.

³ Voir au sujet du projet Enville, soutenu par l'ADEME : <https://leesu.fr/ocapi/les-projets/enville/>

Tableau 7 : Différence entre les besoins énergétiques du système avec tri à la source et ceux du système de référence.

2.3.2. Une économie en ressources minérales et fossiles

La valorisation des urines offre des avantages en termes d'économie de ressources fossiles et minérales. Concernant les ressources fossiles, les économies proviennent principalement de la diminution significative de l'extraction de phosphates, utilisés comme engrais en agriculture, ainsi que la réduction du recours aux combustibles fossiles pour la production d'engrais azotés. Des économies seraient également réalisées au niveau des stations d'épuration, grâce à une réduction de l'usage de certains intrants pour le traitement des excréments, dont le chlorure de fer. A l'inverse, le transport de l'urine nécessite des besoins supplémentaires en ressources, que ce soit en termes de carburant ou pour la construction du matériel utilisé (épandeur et tracteur).

Au global, l'économie réalisée sur la production d'engrais et le traitement des excréments compenserait largement les besoins supplémentaires en ressources pour le transport de l'urine. L'impact cumulé des économies en ressources minérales et fossiles est estimé à une **diminution des besoins en ressources de près de 70 % par rapport au système actuel** (cf. Tableau 8).

Economies potentielles de ressources minérales et fossiles du secteur agricole et du système d'assainissement		70 % de diminution des besoins en ressources par rapport au système actuel
Eléments considérés	Les résultats de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023), dont l'unité fonctionnelle est le kg de blé produit, ont été rapportés à la production totale de l'urine des Français. La différence d'impact entre le système avec tri à la source de l'urine et le système actuel a été calculée. Le gain a été rapporté à l'impact du système actuel pour obtenir un pourcentage de diminution des besoins en ressources par rapport au système actuel.	
Sources d'information	Martin <i>et al.</i> (2023)	
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution. La validité des calculs basés sur l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023) est limitée par la sensibilité aux distances de transport. Par ailleurs, les données ne concernent que la production de blé, et non l'ensemble des productions agricoles.	

Tableau 8 : Economie en ressources réalisée, exprimée par rapport à un équivalent en Antimoine

2.3.3. Une diminution de la consommation en eau

Le tri à la source des excréments humains grâce au recours à des toilettes sèches ou séparatives permettrait également une réduction de l'usage de l'eau, notamment au niveau des chasses d'eau. Différentes options techniques existent, avec des impacts différents sur la consommation d'eau : les urinoirs secs (masculins ou féminins) et les toilettes sèches, où les urines et fèces sont collectés sans apport d'eau permettraient le gain le plus important. Il existe également des solutions intermédiaires, dites à « micro-chasse d'eau », qui permettraient une réduction significative de l'usage des chasses d'eau.

En cas de tri à la source de l'urine généralisé à l'échelle nationale, le gain dépendrait fortement du système de toilette qui serait retenu : en cas d'utilisation de toilettes avec chasse d'eau classique, **167 millions de m³** par an seraient économisés, soit la consommation totale d'une ville comme Nantes. Si un système avec chasse d'eau réduite était retenu, **628 millions de m³** par an pourraient être économisés **soit jusqu'à 18 %** de la consommation d'eau des ménages à l'échelle de la France (cf. Tableau 9). En comparaison, le volume prélevé annuellement en France métropolitaine pour l'ensemble des usages agricoles est en moyenne de 3 milliards de m³. L'irrigation mobilise plus de 90 % de ce volume (INSEE, 2024).

Economies potentielles de consommation d'eau potable consommée par les ménages			167 - 628 millions m ³ /an Soit jusqu'à 18 %
Volume des chasses d'eau	Toilettes conventionnelles	Toilettes sèches	Toilettes séparatives avec micro-chasse d'eau
A l'échelle France	782 millions m ³ /an	0 m ³ /an	154 millions m ³ /an
Une chasse d'eau	5 L	0 L	0,3 et 2,5 L (double poussoir)
Eléments considérés	- Pour la fourchette basse, les résultats de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023) ont été mobilisés. Ces résultats ont été rapportés à la production totale d'urine des Français. La différence d'impact entre le système avec tri à la source de l'urine et le système actuel a été calculée. - Pour la fourchette haute, la consommation d'eau pour les chasse-d'eau a été évaluée à l'échelle nationale. Hypothèse retenue : 7 chasses d'eau par jour : 5 pour les mictions urines et 2 pour fèces		
Source d'information	Martin <i>et al.</i> (2023)		
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution. Le faible volume d'économie dans l'ACV interroge, au vu des économies atteignables grâce à une chasse d'eau réduite.		

Tableau 9 : Différence entre les besoins en eau du système avec tri à la source de l'urine et ceux du système de référence

2.4. Impacts environnementaux sur les milieux avec le tri à la source de l'urine

2.4.1. Une réduction substantielle de l'impact sur le changement climatique

L'assainissement conventionnel contribue de manière non négligeable au réchauffement climatique par l'émission de gaz à effet de serre (GES), principalement le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). Selon le rapport du GIEC (IPCC, 2014), ces émissions représentaient en 2010 environ 1,5 % des émissions totales de GES à l'échelle mondiale (MUSES, 2021).

Par ailleurs, comme vu précédemment, la production d'engrais minéraux notamment azotés requiert de grandes quantités d'énergie, majoritairement d'origine non renouvelable et est émettrice de gaz à effet de serre. Le procédé Haber-Bosch nécessite du dihydrogène, pour lequel il n'existe pas encore de filière renouvelable économiquement compétitive.

En tenant compte de l'ensemble de ces impacts, la valorisation de l'urine de l'ensemble de la population française pourrait engendrer une **réduction estimée à 85 Mt d'équivalent CO₂ par an** (cf. Tableau 10). Cette économie considérable représenterait **8 % de l'impact CO₂ de l'ensemble du secteur agricole français**. Les économies réalisées sur le traitement des eaux usées ainsi que la production d'engrais minéraux représentent l'essentiel du gain. Elles compensent largement les pertes au champ, ainsi que les besoins supplémentaires pour le transport de l'urine, et permettent d'expliquer cet impact positif.

Réduction des émissions de GES		85 Mt eq. CO ₂ /an soit 8 % de l'impact GES du secteur agricole français
Éléments considérés	Les résultats de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023), dont l'unité fonctionnelle est le kg de blé produit, ont été rapportés à la production totale d'urine des Français. La différence d'impact entre le système avec tri à la source de l'urine et le système actuel a été calculée. Le gain a été rapporté à l'impact CO ₂ de l'ensemble du secteur agricole français	
Sources d'information	Besson <i>et al.</i> (2020) ; Citepa (2021) ; Martin <i>et al.</i> (2023)	
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution. La validité des calculs basés sur l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023) est limitée par la sensibilité aux distances de transport. Des calculs supplémentaires relatifs à la sensibilité des transports ont été réalisés par Starck (2024) et indiquent une amélioration des résultats de l'ACV (Des urines valorisables à distance raisonnable des lieux de production). Par ailleurs, les données ne concernent que la production de blé, et non l'ensemble des productions agricoles.	

Tableau 10 : Différence entre les émissions de GES du système avec tri à la source de l'urine et ceux du système de référence

2.4.2. Une limitation de l'eutrophisation des milieux

Les nutriments relargués dans les cours d'eau par l'assainissement actuel contaminent les écosystèmes et génèrent une accumulation de nutriments dans les eaux, appelée eutrophisation. Cette dernière provoque la prolifération d'algues dans les eaux douces et marines, réduisant l'oxygène disponible et pouvant tuer la vie aquatique (Chislock *et al.*, 2013).

Les causes de l'eutrophisation des milieux en France sont multifactorielles : les pratiques agricoles (notamment des apports d'engrais importants et absence de couverture du sol en hiver favorisant le lessivage des nutriments dans les cours d'eau) jouent un rôle important. Les rejets des stations d'épuration y contribuent également.

Le tri à la source des urines limiterait les rejets directs dans les milieux aquatiques : les nutriments seraient dans des proportions plus importantes restitués aux parcelles agricoles. L'impact à l'échelle nationale serait une réduction de l'ordre de **107 528 t N/an** et **7 955 t P/an** (cf. Tableau 11).

Réduction de l'eutrophisation sur les milieux aquatiques		107 528 t N/an 7 955 t P/an
Éléments considérés	Concernant l'azote et le phosphore, les travaux de Starck <i>et al.</i> (2023) indiquent que 40 % de l'azote et 35 % du phosphore entrants dans les STEP se retrouvent dans les cours d'eau (Figure 3 et Figure 4). On considère ici que si l'urine des Français est séparée à la source pour être valorisée dans les champs agricoles, l'azote et le phosphore qu'elle contient seraient intégralement détournés des cours d'eau. L'urine des Français contient 268 820 t N/an et 22 728 t P/an (0.011 kg N/jr/pers. et 0,00093 kg P/jr/pers. – Friedler <i>et al.</i> 2013 ; cité par Martin <i>et al.</i> , 2023)	
Source d'information	Friedler <i>et al.</i> (2013)	
Commentaire	Ces chiffres pourraient être comparés aux pertes diffuses de l'agriculture. En l'absence de données consolidées à l'échelle française, ils sont présentés bruts.	

Tableau 11 : Différence entre les émissions de nutriments dans les milieux aquatiques du système avec tri à la source de l'urine et ceux du système de référence

2.4.3. Une diminution d'émission de particules fines

Le tri à la source de l'urine permettrait également de limiter légèrement l'émission de particules fines. En effet, la production des engrais minéraux émet de grandes quantités de particules fines (cendres, résidus de combustion, nitrates, composés organiques volatils, etc.), notamment lors de la combustion d'énergies fossiles. L'évitement de ces impacts compenserait largement les émissions supplémentaires

lors de l'épandage et le transport. A l'échelle française, ce sont **262 tonnes PM2.5 / an qui seraient évitées, soit une réduction de 2 % des émissions de l'agriculture française** (cf. Tableau 12).

Réduction des émissions de particules fines		262 tonnes PM2.5 / an soit 2 % de diminution des émissions du secteur agricole
Eléments considérés	Les résultats de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023), dont l'unité fonctionnelle est le kg de blé produit, ont été rapportés à la production totale de l'urine des Français. La différence d'impact entre le système avec tri à la source et le système actuel a été calculée en tenant compte de la limitation des émissions de particules liées à la production d'engrais minéraux et des émissions liées à l'épandage et au transport des urines.	
Source d'information	Martin <i>et al.</i> (2023) Rapport de l'Agence Européenne de l'environnement sur la qualité de l'air (2018)	
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, de sorte qu'ils sont à considérer avec précaution. La validité des calculs basés sur l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023) est limitée par la sensibilité aux distances de transport. Des calculs supplémentaires relatifs à la sensibilité des transports ont été réalisés par Starck (2024) et indiquent une amélioration des résultats de l'ACV (cf. Des urines valorisables à distance raisonnable des lieux de production).	

Tableau 12 : Différence entre les émissions de particules fines PM 2.5 dans les milieux aquatiques du système avec tri à la source de l'urine et pour le système de référence

2.4.4. Une augmentation limitée de l'acidification des milieux

L'acidification des milieux représente un autre impact environnemental important, qui fait partie des six limites planétaires (Stockholm Resilience Centre, 2009). Les activités humaines contribuent à l'acidification terrestre notamment par les rejets de soufre et d'azote dans l'atmosphère. A travers les pluies acides, ces substances se déposent sur les sols et dans les eaux, affectant la qualité des sols et perturbant les écosystèmes aquatiques. Les activités industrielles, la combustion d'énergies fossiles et l'agriculture font partie des principales causes de l'acidification.

Dans le domaine de l'agriculture, la production des fertilisants chimiques contribue à l'acidification, mais l'épandage représente l'étape la plus impactante. La volatilisation de l'ammoniac se produit aussi bien dans le cas de la fertilisation chimique que dans le cas de la fertilisation grâce à l'urine. Néanmoins, la volatilisation dépend également de la forme sous laquelle se trouve l'azote dans les produits épandus. A quantité d'azote équivalente, l'épandage de l'urine entrainerait une très légère hausse de l'acidification. **Cette contribution à l'acidification des milieux est estimée à 940 kmol H⁺/an, soit de moins de 2 % d'augmentation par rapport au système de référence** (cf. Tableau 13).

Impact sur l'acidification des milieux aquatiques		940 kmol H ⁺ /an soit moins de 2 % d'augmentation par rapport au système de référence
Eléments considérés	Les résultats de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023), dont l'unité fonctionnelle est le kg de blé produit, ont été rapportés à la production totale d'urine des Français. La différence d'impact entre le système avec tri à la source de l'urine et le système actuel a été calculée en comparant l'acidification liée à la production de fertilisants chimiques et à leur épandage à l'acidification liée à l'épandage d'urine.	
Source d'information	Martin <i>et al.</i> (2023)	
Commentaire	S'appuyant sur une extrapolation à l'échelle nationale des résultats de Martin <i>et al.</i> (2023), ces calculs présentent de nombreuses incertitudes, et sont à considérer avec précaution.	

Tableau 13 : Différence entre les émissions de produits acidifiants dans les milieux aquatiques du système avec tri à la source de l'urine et pour le système de référence

2.5. Des impacts sanitaires peu connus, mais globalement encourageants

2.5.1. Des urines peu contaminées par des organismes pathogènes

Les contaminations biologiques concernent principalement des bactéries et virus, potentiellement pathogènes chez l'homme. Ces organismes pathogènes peuvent présenter une très grande diversité, seul un nombre réduit est l'objet d'analyses régulières : *E. coli*, *Salmonella*, Streptocoques, etc. Le fonctionnement rénal fait que les urines de personnes saines sont une voie mineure d'excrétion des pathogènes : l'urine est de manière générale très peu contaminée. Néanmoins, le tri à la source de l'urine est régulièrement sujet à des contaminations fécales – les fèces contenant des quantités importantes de micro-organismes (Larsen *et al.*, 2021).

Le stockage de l'urine permet de réduire fortement la présence de pathogènes. L'urine, de par ses propriétés chimiques, forme un milieu qui exerce une pression de sélection où vont dominer des colonies de lactobacilles non pathogènes au détriment d'autres organismes (Martin, 2020). Par exemple, le stockage pendant 5 jours suffit à inactiver 90 % des bactéries du genre *Salmonella* et *E. coli* (Nordin, 2010).

2.5.2. Une présence limitée d'éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques ou métaux lourds peuvent représenter un risque sanitaire, en raison de leurs bio-accumulation, notamment chez l'humain. Un transfert dans les parties comestibles des plantes existe pour certaines cultures. Par ailleurs, l'accumulation de métaux lourds dans le sol peut nuire à la fertilité des sols de manière irréversible. A ce titre, les intrants agricoles sont contrôlés.

Les teneurs en éléments traces métalliques sont généralement faibles dans l'urine, souvent inférieures à celles des engrais minéraux (tels que la roche phosphatée) ou le lisier de bovin, et a fortiori des seuils retenus pour les boues de stations d'épuration (Martin, 2020). Les concentrations constatées dans l'urine sont habituellement inférieures aux seuils définis pour les fertilisants et supports de culture (Karak et Bhattacharyya, 2011). Toutefois, ces seuils de concentrations ne représentent pas les flux d'éléments indésirables vers les sols qui sont variables en fonction de l'apport d'engrais souhaité.

2.5.3. Des produits pharmaceutiques nombreux, à l'impact peu connu

Plus de 4 000 médicaments différents sont commercialisés en France (Alighardashi *et al.*, 2008), les substances les plus prescrites se partagent entre analgésiques, anti-inflammatoires et antibiotiques. La filtration rénale est le mode principal d'élimination de la plupart des médicaments (50-70 %). Les urino-fertilisants peuvent donc contenir des résidus médicamenteux. Leur présence pose des questions sanitaires et environnementales. Dernièrement (Brun 2025), un travail de déploiement d'un démonstrateur de la collecte à la fertilisation agricole d'excrétats humains a été mené dans la région lyonnaise. Ce démonstrateur (nommé Kolo) identifie des molécules de médicaments et les quantifie de 5 ng/L à 2,86 mg/L pour une somme totale de molécules de 7,3 mg/L. Les médicaments appartiennent aux antibiotiques (Triméthoprim, Sulfaméthoxazole, Tétracycline, Cyprofloxacin), aux anticonvulsifs (Carbamazépine), aux anti-inflammatoires (Diclofénac, Ibuprofène) ou aux antidouleurs (Tramadol). Il est à noter que la caféine est aussi une molécule fortement retrouvée dans ces excréments.

Actuellement, les traitements en stations d'épuration ne sont pas dédiés au traitement de ces résidus (Goulas *et al.*, 2020), et plus de 30 % finissent dans les milieux aquatiques, via le relargage des excréments traités. Par ailleurs, les boues de stations d'épuration font dans 75 % des cas l'objet d'un retour au sol agronomique (Amorce, 2020) et peuvent également être contaminées par des produits pharmaceutiques, même si la contamination est encore peu connue (Etienne, 2024).

On estime que 208 tonnes de produits pharmaceutiques sont déversées dans les eaux via les STEP, dont 60 %, soit **125 tonnes /an pourraient être évités grâce au tri à la source des urines**. Le tri à la source des urines permettrait de ne pas diluer ces produits et potentiellement de les traiter plus facilement (Esculier *et al.*, 2022).

- **Traitements non spécifiques**

Des solutions qui ne visent pas spécifiquement à traiter les polluants, comme le stockage, l'acidification ou l'alcalinisation obtiennent des taux d'abattement de 0 à 80 % en fonction des molécules considérées

(Tableau 14). Pour ces traitements non spécifiques, les taux d'abattements sont en général relativement faibles (proches de 30 %), souvent inférieurs au traitement en station d'épuration. Par exemple, une réduction de 35 % de la tétracycline, un antibiotique commun, a été observée après 11 mois de stockage (Butzen *et al.*, 2005 cité par Martin *et al.*, (2022), alors qu'elle est de 67 % dans l'eau en sortie de station d'épuration. Ces 67 % de tétracycline sont en partie traités, et en partie évacués dans les boues (Miege *et al.*, 2009). Pour autant, des traitements supplémentaires, tels que l'acidification, l'alcalinisation ou la nitrification, permettraient d'obtenir des taux d'abattement supérieurs à 80 % (Martin, 2020).

- **Traitements dédiés**

Des traitements visant à prendre en charge spécifiquement les micro-contaminants pharmaceutiques pourraient être mis en place. Parmi les solutions existantes se trouvent la filtration sur charbon actif ou sur biochar inactivé. Ces solutions permettent en général d'obtenir un taux d'abattement supérieur à 98 % (cf. Tableau 14).

Réduction des émissions de produits pharmaceutiques dans les milieux aquatiques		125 t / an Soit 60 % de diminution
Taux d'abattement de micropolluants en cas de traitement de l'urine	Traitement non spécifique (par stockage, acidification ou alcalinisation)	30 % de diminution en général De 0 à 80 % selon les molécules considérées
	Traitement dédié	> 98 % en général
Eléments considérés	Le calcul de la quantité totale de produits pharmaceutiques s'appuie sur des données pour 86 molécules différentes analysées au sein des eaux entrantes en station d'épuration. En tenant compte des taux d'abattement observés, la quantité totale de produits pharmaceutiques déversés dans les milieux aquatiques via les STEP a été calculée. La part d'excrétion urinaire (60%) permet d'évaluer la quantité évitable grâce au tri à la source de l'urine.	
Source d'information	(Miege <i>et al.</i> , 2009)	
Commentaire	Le taux d'abattement par stockage de l'urine est peu connu. La quantité de produits pharmaceutiques présents dans les boues de stations d'épuration est également difficile à quantifier.	

Tableau 14 : Evaluation de la quantité de produits pharmaceutiques rejetés dans les milieux aquatiques, et de la part évitable grâce au tri à la source des urines

Toutefois, il apparaît que les risques environnementaux seraient plus faibles en cas de retour au sol au sein de parcelles agricoles – comme dans le cas d'un tri à la source de l'urine - plutôt que d'une évacuation vers les milieux aquatiques – dans le cas des stations d'épuration actuelles - car la majorité des substances médicamenteuses ne présentent pas d'accumulation dans le sol (Etienne, 2024). La plupart des dommages environnementaux sont liés à une contamination des milieux aquatiques.

Notons par ailleurs que le risque sanitaire par contamination des produits pharmaceutiques n'est pas spécifique à la séparation à la source de l'urine, et existe également avec l'épandage de fumiers et de lisiers, ainsi qu'avec l'assainissement conventionnel.

2.6. Synthèse des indicateurs environnementaux calculés au niveau national

Le Tableau 15 présente un bilan des indicateurs environnementaux calculés.

1. Apports potentiels de l'urine en agriculture		
Dans le système agricole français actuel		
Production de blé potentiellement fertilisable par les urino-fertilisants	30 %	
Nombre de baguettes produites potentiellement grâce aux apports d'azote des urino-fertilisants	2 baguettes /jr/personne	
Autonomie azotée de la France (situation actuelle – sans tri à la source de l'urine)	12 % actuellement	
Autonomie azotée de la France (grâce au tri à la source de l'urine)	28 % au total	
Substitution potentielle des engrais chimiques par l'urine	16 % de l'Azote (N) 23 % de Phosphore (P) 33 % de Potassium (K)	
Dans le cadre d'un modèle agro-écologique		
Consommation de blé potentiellement fertilisable en azote par les urino-fertilisants	76 % (vs. 30 % si rapporté à la production nationale)	
Autonomie azotée de la France dans un scénario agroécologique	100 % dont 30 – 40 % grâce à l'urine	
Dans le cadre des scénarios ADEME Transitions 2050		
	Sans séparation à la source de l'urine	Avec séparation à la source de l'urine
1 - Génération frugale Limitation de la construction, rénovation rapide et modification d'ampleur des modes de vie	34 %	50 %
2 - Coopérations territoriales Rénovation massive, évolution graduelle mais profonde des modes de vie	50 %	63 %
3 - Technologies vertes Rénovation massive et déconstruction-reconstruction	24 %	37 %
4 - Pari réparateur Efficacité énergétique et innovation technique	12 %	26 %
Tendanciel Référence sans évolution notable des pratiques de construction	15 %	33 %
2. Considérations géographiques des apports potentiels de l'urine en agriculture		
Disparités régionales de la part de production agricole fertilisable par les urino-fertilisants		
Part des achats de fertilisants azotés de synthèse potentiellement substituables par la production d'urine des Français	Grande disparité régionale Rappel : 16 % au niveau national	
Des urines valorisables à distance raisonnable des lieux de production		
Distance moyenne entre le lieu de production de l'urine et la parcelle agricole fertilisable	25 km	
Part de l'urine pouvant être épandue à moins de 10 km de son lieu de production	70 %	
Part de l'urine pouvant être épandue à moins de 3 km de son lieu de production	50 %	
3. Economies potentielles de ressources grâce au tri à la source de l'urine		
Economies potentielles d'énergie	- 8,9 GWh eq. / an soit 19 % de diminution	
Economies potentielles de ressources minérales et fossiles	- 70 % de diminution	
Economies potentielles de consommation d'eau potable consommée par les ménages	167 - 628 millions m³/an Soit jusqu'à 18 % de diminution	
4. Impacts environnementaux sur les milieux avec le tri à la source de l'urine		
Réduction des émissions de GES	- 85 MT eq. CO₂/an soit 8 % de l'impact GES du secteur agricole français	
Réduction de l'eutrophisation sur les milieux aquatiques	- 107 528 t N/an - 7 955 t P/an	
Réduction des émissions de particules fines	- 262 tonnes PM2.5 / an soit 2 % de diminution	

Hausse de l'acidification des milieux aquatiques		940 kmol H ⁺ /an soit moins de 2 % d'augmentation
5. Impacts sanitaires des produits pharmaceutiques avec le tri à la source de l'urine		
Réduction des émissions de produits pharmaceutiques dans les milieux aquatiques		- 125 t / an Soit 60 % de diminution
Taux d'abattement de micropolluants en cas de traitement de l'urine	Traitement par stockage, acidification ou alcalinisation	30 % de diminution en général De 0 à 80 % selon les molécules considérées
	Traitement dédié	> 98 % en général

Tableau 15 : Synthèse des indicateurs environnementaux

3. Dossier économique

RÉSUMÉ DU DOSSIER ECONOMIQUE

La valorisation des urines représente un coût, à la fois en investissement et en fonctionnement. Sa généralisation à l'échelle nationale entrainerait toutefois une transformation profonde du système d'assainissement, permettant de réaliser des économies substantielles, grâce aux économies d'eau et de traitement de l'azote.

Je propose de retirer cette phrase car la part des coûts fixes en eau/assainissement est élevée et si la consommation d'eau baisse, le prix au m3 augmentera peut-être... Les agriculteurs bénéficieraient d'une baisse des dépenses pour les engrais de synthèse. La dépendance de la France aux importations d'engrais pourrait être réduite de 16 % pour l'azote, 23 % pour le phosphore et 33 % pour le potassium, conférant un intérêt stratégique pour la France, au-delà des seuls bénéfices économiques.

Par ailleurs, la séparation à la source de l'urine serait porteuse de bénéfices environnementaux difficilement monétarisables (diminution de l'impact carbone, augmentation de la qualité des cours d'eaux, etc.).

Chiffres clés

- L'investissement dans la filière de séparation à la source de l'urine pour l'habitat collectif est évalué à 450 EUR par personne. Le coût de fonctionnement, à 8 EUR/an/habitant, est limité.
- En tenant compte des économies réalisées sur le système d'assainissement conventionnel et de l'amortissement des investissements, l'impact économique de la mise en place de la séparation à la source des urines serait limité, estimé entre -0,2 à +1,3 milliards EUR par an.
- Cet éventuel surcoût pourrait être compensé par la valeur fertilisante des urines, évaluée aujourd'hui à 270 millions d'euros en équivalent azote. Cette valeur pourrait être amenée à augmenter, étant directement corrélée au coût de l'énergie.
- L'évitement des impacts environnementaux représente des bénéfices économiques supplémentaires, dont seule une partie est quantifiable. Les économies évaluées concernent les émissions évitées de CO₂ (290 – 930 millions d'euros), d'azote dans les milieux aquatiques (30 – 70 millions d'euros) ou de particules fines (21 - 122 millions d'euros).

SUMMARY OF THE ECONOMIC ASSESSMENT

Urine recovery systems represent a cost, both in terms of investment and operation. However, nationwide adoption would require a profound transformation of the wastewater treatment system, allowing substantial savings to be made in water use and nitrogen treatment.

It would also lead to savings for households through lower water and sanitation costs. Farmers would benefit from lower expenditure on synthetic fertilisers. France's dependence on fertiliser imports could be reduced by 16% for nitrogen, 23% for phosphorus and 33% for potassium, making it, on top of the economic benefits, of strategic interest to France.

Furthermore, source separation of urine would result in environmental benefits that are difficult to attribute a monetary value to (reduced carbon impact, improved quality of watercourses, etc.).

Key figures

- Upfront investment in source separation of urine in collective housing is estimated at EUR 450 per person. The operating cost is modest (EUR 8/year/inhabitant)
- Taking into account the savings made on the conventional sanitation system and the amortisation of investments, the economic impact of the source separation of urine would be limited and is estimated at between – EUR 0.2 billion and + EUR 1.3 billion per year.
- This potential extra cost could be offset by the value of urine as fertiliser, currently valued at EUR 270 million in nitrogen equivalent. This value could increase, as it is directly correlated to the cost of energy.
- The avoidance of environmental impacts represents additional economic benefits, of which only some can be quantified. The savings able to be estimated relate to avoided CO₂ emissions (EUR 290 - 930 million), preventing water pollution (EUR30 - 70 million) and fine particles (EUR 21 - 122 million).

Ce dossier vise à identifier les conséquences économiques d'un tri à la source des excréments humains à l'échelle française : combien coûterait ce tri à la source, quels seraient les bénéfices économiques de ce tri et pour qui ?

Peu de travaux ont été identifiés sur le sujet, de sorte que ce dossier s'appuie sur deux publications, lesquelles portent sur des filières et des modélisations théoriques de territoires différents :

- Les travaux de Maysonnave *et al.* (2016) portent exclusivement sur la filière urine. La modélisation considère un territoire de 100 000 habitants comprenant des bâtiments d'habitations et des bâtiments d'activités tertiaires situé sur le plateau de Saclay en région parisienne. La filière urine considérée consiste à collecter les urines séparément des eaux usées grâce à des toilettes séparatives, puis à les traiter par stockage (hygiénisation) et enfin à les valoriser pour fertiliser les cultures agricoles. Les auteurs n'apportent pas d'éléments chiffrés sur le système d'assainissement existant mais explicitent les postes principaux de la mise en place de la filière urine.
- Les travaux de Shoa (2021) s'appuient sur les données du système d'assainissement conventionnel raccordé à la station d'épuration de Wassmannsdorf à Berlin. La modélisation considère une métropole théorique d'un million d'habitants et compare trois systèmes d'assainissement :
 - le système d'assainissement conventionnel de référence
 - un système avec séparation de l'urine et production d'engrais sous forme de stuvite⁴
 - un système avec séparation des eaux noires. Ce système comprend des toilettes sous vide avec un réseau sous-vide pour la collecte des urines et des fèces en mélange, valorisation agriculture et énergétique (par méthanisation).

NB : en raison du faible nombre de publications disponibles, et même si le périmètre de l'étude se limite au traitement des urines par stockage, il a été décidé de prendre en compte les résultats de la publication de Shoa (2021) de manière à disposer de données pour les systèmes avec séparation de l'urine (les éventuels surcoûts inhérents au traitement de stuvite sont mentionnés le cas échéant) mais également ceux avec séparation des eaux noires avec réseau sous vide.

Grâce à des extrapolations nationales de ces travaux, une évaluation de l'impact économique du tri à la source des excréments humains de l'ensemble des Français a été effectuée.

3.1. Coûts de la séparation à la source de l'urine

Cette partie vise à évaluer les coûts d'investissement et de fonctionnement d'une filière urine à l'échelle nationale. Elle s'appuie sur les résultats des travaux de Maysonnave *et al.* (2016).

3.1.1. Des coûts d'investissement modérés pour la mise en place de la séparation à la source des urines

La mise en place de la séparation à la source de l'urine exige des installations et équipements spécifiques pour la collecte - équipement des bâtiments d'habitation avec des toilettes appropriées -, ainsi qu'un réseau séparé pour les flux d'urine. Dans le cas décrit ici, l'urine serait stockée dans des cuves au niveau des bâtiments, et collectée régulièrement par camion par l'entité en charge (entreprise de transport en DSP ou la collectivité - régie), avant d'être apportée directement à des exploitants agricoles (Maysonnave *et al.*, 2016). **A noter que seul l'habitat collectif est considéré dans cette simulation.**

L'investissement nécessaire pour la mise en œuvre de la séparation à la source de l'urine est évalué à **448 EUR par personne en habitat collectif**. En considérant que les coûts pour l'habitat individuel sont

⁴ Production d'engrais concentré sous forme de stuvite.

comparables à ceux pour l'habitat collectif, **l'investissement pour l'ensemble de la France** est évalué à **30 milliards d'euros**. L'aménagement des bâtiments par les constructeurs ou propriétaires (16 milliards d'euros) ainsi que les infrastructures de stockage permettant le traitement sanitaire des urines par les collectivités (13 milliards d'euros) représentant les principaux postes (cf. Tableau 16).

Ces chiffres apparaissent modérés, inférieurs au coût de la rénovation énergétique des passoires thermiques évalué à 80 milliards d'euros en 2017 (Sia Partners, 2017⁵). Ils présentent néanmoins une forte incertitude : ils sont basés sur l'extrapolation à l'échelle nationale des coûts d'installation pour un territoire de 100 000 personnes. Or, la mise en place du tri à la source de l'urine n'ayant jamais été mis en place à grande échelle, des économies d'échelle substantielles peuvent être envisagées, de sorte que l'estimation de l'investissement à 30 milliards d'euros correspond certainement à une limite maximum.

Coût d'investissement de la séparation à la source de l'urine à l'échelle de la France	
30 milliards d'euros à l'échelle de la France Soit 0,75 milliards d'euros / an sur 40 ans	
Soit 448 EUR / habitant (soit 11 EUR / an / personne), dont : • 202 EUR assumés par la collectivité • 170 EUR assumés par l'habitant pour aménager son habitation • 76 EUR assumés par l'employeur pour aménager le lieu d'activité	
Eléments considérés	Equiper des bâtiments d'habitat collectif et des bâtiments d'activités tertiaires avec des toilettes séparatives appropriées, des tuyaux et des cuves de collecte (150 m³) en pied d'immeuble Camions pour la collecte (fréquence de collecte : 15 jours pour les habitations, 30 jours pour les activités tertiaires) Cuves de stockage de 200 m³ pour le traitement par hygiénisation pendant 6 mois chez les agriculteurs
Hypothèse	Durée d'amortissement du système d'assainissement : 40 ans.
Source d'information	(Mayonnave <i>et al.</i> , 2016)
Commentaire	Extrapolation basée sur une modélisation d'un territoire de 100 000 habitants comprenant pour 69 % de quartiers résidentiels en habitat collectif (immeubles de 250 habitants), pour 31 % de quartiers d'activité tertiaire (immeubles de 1 000 personnes). Cette proportion habitat / activité correspond à l'hypothèse du temps passé par les personnes entre leur lieu de vie et leur lieu de travail (et donc du gisement d'urine).
Limites / incertitudes	Réflexion sur l'habitat collectif à multi-étages exclusivement. Pas de distinction par typologie d'habitat individuel / collectif, rural / urbain, pas d'expérimentation à grande échelle. L'habitat individuel, qui représente 55 % des habitations (et 37 % du gisement d'urine – cf. Figure 20), n'est pas pris en compte dans le modèle.

Tableau 16 : Coûts d'investissement de la filière urine à l'échelle française

3.1.2. Des coûts de fonctionnement limités pour la séparation à la source de l'urine

Les coûts de fonctionnement de la séparation à la source de l'urine avec traitement par stockage à l'échelle nationale (hors habitat individuel) sont estimés à **506 millions d'euros par an** pour les collectivités, soit **8 EUR par personne par an**.

Parmi ces coûts, le collecte de l'urine avec l'entretien des cuves de collecte en pied de bâtiment et le transport de l'urine par camion depuis les bâtiments où a lieu la collecte jusqu'aux exploitations agricoles représentent le poste principal (75 %). Un second poste important (32 %) est représenté par l'entretien des outils de collecte : 161 millions d'euros par an. En effet, les réseaux d'urine au sein des bâtiments demandent un entretien régulier, plus important que pour des toilettes conventionnelles. Si l'entretien quotidien (nettoyage des toilettes et urinoirs) n'est pas comptabilisé car laissé à la charge des usagers, un entretien mensuel du réseau est à prévoir (nettoyage à la soude), ainsi qu'un entretien annuel plus

⁵ <https://www.precarite-energie.org/wp-content/uploads/2019/07/2017-02-21---sce-nario-re-novons-.pdf>

important, pouvant nécessiter un curage du réseau, en raison de la précipitation de l'urine sous forme solide, pouvant boucher les canalisations. Enfin, le traitement de l'urine par stockage, qui comprend l'entretien des cuves de stockage chez les agriculteurs, représente 25 % du coût de fonctionnement. Le Tableau 17 présente les modalités de calcul.

Coût d'opération et maintenance de la filière urine à l'échelle de la France		506 millions EUR / an à l'échelle de la France, soit 8 EUR / an / personne, dont :		
		378 millions EUR pour la collecte	161 millions pour l'entretien des outils de collecte (cuves de collecte et réseaux)	32 %
			201 millions pour la conduite des camions	40 %
			16 millions pour la maintenance des camions	3 %
		128 millions EUR pour le traitement	Entretien des cuves de stockage	25 %
Eléments considérés	Collecte : - Entretien des cuves de collecte (aux pieds des bâtiments) : 1h mensuel + 1 journée annuelle par cuve - Transport de l'urine : conduite et maintenance des camions - Maintenance des camions - Entretien du réseau au niveau des bâtiments : ➤ Entretien mensuel d'1h par bâtiment (mise en charge du réseau avec de la soude et purge). ➤ Entretien annuel : forfait d'1 journée par bâtiment, pouvant impliquer un curage manuel. Traitement : - Entretien des cuves de stockage (chez les agriculteurs) : 1 journée par semestre			
	Sources d'information			
	Maysonnave <i>et al.</i> (2016) et calculs Ecogeos			
Commentaire		Extrapolation basée sur une modélisation d'un territoire de 100 000 habitants comprenant pour 69 % de quartiers résidentiels à habitat collectif et pour 31 % de quartiers d'activité tertiaire. L'habitat individuel n'est pas pris en compte. Des calculs complémentaires permettant de prendre en compte l'habitat individuel sont nécessaires. L'entretien du réseau, non pris en compte par Maysonnave <i>et al.</i> (2016), a été l'objet de calculs réalisés par Ecogeos.		

Tableau 17 : Coûts d'opération et maintenance de la filière urine à l'échelle française

3.2. Comparaison des coûts des systèmes d'assainissement : conventionnel versus avec tri à la source de l'urine ou des eaux noires

Cette partie compare les coûts du système d'assainissement conventionnel de référence avec des systèmes d'assainissement incluant un tri à la source de l'urine d'une part et des eaux noires d'autres part. Elle s'appuie sur les résultats des travaux de Shoa (2021). Elle analyse également, pour le cas d'un système d'assainissement avec tri à la source de l'urine, les économies de fonctionnement dues à la baisse de l'azote entrant dans les stations d'épuration.

3.2.1. Des coûts d'investissement du système d'assainissement supérieurs en cas de tri à la source des excréments humains

La mise en place d'un tri à la source des urines et/ou fèces aura un impact sur l'ensemble du système d'assainissement, incluant le réseau et les installations de traitement, et ceci pour la totalité des flux. Pour comparer les systèmes d'assainissement, il apparaît donc pertinent de comparer les coûts globaux, en intégrant à la fois les surcoûts liés à l'investissement dans de nouvelles installations, mais également les économies réalisées sur l'assainissement conventionnel.

Dans ces conditions, le coût d'investissement pour un **système d'assainissement avec séparation des urines** est du même ordre de grandeur que celui d'un système d'assainissement **avec séparation**

des eaux noires (urine et fèces ensemble) : ils représentent un surcoût de 20-54 milliards d'euros par rapport au **coût du système d'assainissement conventionnel**, soit une augmentation de 12 à 40 % (cf. Tableau 18).

Systèmes d'assainissement (en milliards d'euros / an)		Systèmes conventionnels existants	Systèmes avec séparation des urines	Systèmes avec séparation des eaux noires (urines et fèces ensemble)
Coût d'investissement de systèmes d'assainissement à l'échelle de la France		[134 – 167] Soit [3,4 – 4,2] /an	> 187	
Surcoût à l'investissement		-	> [+20 – +54] Soit > [+0,5 – +1,3] /an Soit > [12 - 40 %]	
Eléments considérés	Comparaison de 3 systèmes d'assainissement : • Système conventionnel de référence comprenant la collecte, le transport, le traitement des eaux usées et des boues • Système avec séparation de l'urine comprenant une unité de traitement de l'urine (stuvite) • Système avec séparation des eaux noires (urines et fèces ensemble) grâce à un réseau sous vide			
Hypothèses	Extrapolation à l'échelle France basée sur une modélisation d'un système d'assainissement pour 1 million de personnes. L'auteur ne précise pas le ratio entre logements collectifs et logements individuels, ni entre bâtiments d'activité et de logements. Durée d'amortissement du système d'assainissement : 40 ans. Limite : pas de considération des tailles des systèmes d'assainissement existants et de leur diversité.			
Source d'information	Shoa (2021)			
Commentaire	Les données relatives aux coûts d'investissement ne sont pas assez précises pour distinguer les systèmes de séparation des urines et eaux noires. Les coûts d'investissement dans les systèmes avec séparation des urines sont probablement surévalués par rapport à une solution avec traitement de l'urine par stockage (hygiénisation), en raison du traitement de struvite pris en considération par Shoa (2021). Le détail des calculs réalisés par Shoa (2021) ne donne pas une vision des postes considérés.			

Tableau 18 : Comparaison du coût d'investissement du système conventionnel existant avec des systèmes comprenant la séparation des urines ou des eaux noires, en milliards d'euros / an

3.2.2. Des coûts d'opération et de maintenance réduits en cas de système d'assainissement avec tri des excréments humains

Les coûts d'opération et de maintenance pour le système d'assainissement des eaux usées tiennent compte du système dans son ensemble (intégrant les filières pour les flux d'urine, de fèces ainsi que pour les eaux grises), en considérant à la fois les surcoûts liés au tri à la source, mais également les économies réalisées.

Dans ces conditions, **l'assainissement intégrant un tri à la source de l'urine présente des coûts d'opération et de maintenance moins élevés que les systèmes d'assainissement conventionnels** actuels, de l'ordre de 3,3 – 3,7 milliards d'euros par an contre 3,7 - 4,0 milliards d'euros par an (cf. Tableau 19). Les systèmes de séparation des eaux noires (urines et fèces) avec réseau sous vide présenteraient des coûts d'opération et de maintenance comparables aux systèmes d'assainissement conventionnels, avec un minimum de 3,7 milliards d'euros par an (Shoa, 2021).

Systèmes d'assainissement (en milliards d'euros / an)	Systèmes conventionnels existants	Systèmes avec séparation des urines	Systèmes avec séparation des eaux noires
Coût d'opération et maintenance de l'assainissement à l'échelle de la France	[3,7 – 4] /an	[3,3 – 3,7] /an	> 3,7 /an
Eléments considérés	Système d'assainissement conventionnel comprenant la collecte, le transport, le traitement des eaux usées et des boues Système d'assainissement avec tri et traitement de l'urine comprenant en outre une unité de traitement de l'urine (struvite)		
Hypothèse	Extrapolation à l'échelle France basée sur une modélisation d'un système d'assainissement pour 1 million de personnes. L'auteur ne précise pas le ratio entre logements collectifs et logements individuels, ni entre bâtiments d'activité et de logements. Limite : pas de considération des tailles des systèmes d'assainissement et de leur diversité.		
Source d'information	Shoa (2021)		
Commentaire	Pas de détail des coûts d'opération et maintenance par poste Les coûts d'opération et de maintenance pour le système avec séparation des urines sont probablement surévalués par rapport à une solution avec traitement par stockage en raison du traitement des struvites considérés par Shoa (2021)		

Tableau 19 : Comparaison du coût de l'assainissement conventionnel existant ou avec tri à la source de l'urine

3.2.3. Economies attendues pour le système d'assainissement en cas de tri à la source de l'urine grâce à la réduction de l'azote à traiter

Avec la mise en place d'une filière urine, des économies sont attendues au niveau des systèmes d'assainissement : le tri à la source des urines engendrerait une réduction de la quantité de nutriments contenus dans les eaux usées qui arrivent dans les stations d'épuration, notamment de l'azote. Les coûts de traitement de ces nutriments seraient donc réduits. En effet, la dénitrification représente un poste important dans le dimensionnement des stations d'épuration : le tri à la source des urines détournerait la majorité de l'azote, rendant les besoins de dénitrification moins importants. Toutefois, ces économies ne seraient réalisées qu'à l'occasion du renouvellement des installations : 70 % des coûts étant fixes, et indépendants du nombre de m³ traités (Shoa, 2021).

L'évaluation de ces économies potentielles à court terme apparaît soumise à de nombreuses incertitudes. En se basant sur les travaux de Maysonnave *et al.* (2016), ainsi que sur l'estimation de la part de coûts fixes (Shoa, 2021), la **réduction des coûts de traitement de l'azote** dans les filières d'assainissement actuelles pourrait aller de **1 à 3,2 milliards d'euros par an** à l'échelle nationale (cf. Tableau 20).

Coûts évités pour les collectivités pour le traitement de l'azote à l'échelle de la France en cas de système avec séparation de l'urine		0,7 – 3,2 milliards EUR / an
Eléments considérés	Fourchette basse extrapolée des travaux de Shoa (2021) : 4 – 3,3 = 0,7 milliards EUR / an Fourchette haute basée sur les travaux de Maysonnave <i>et al.</i> (2016), avec extrapolation à l'échelle française : 3,2 milliards EUR / an	
Hypothèse	Part de coût fixe pour une installation donnée, indépendant de la quantité de m ³ traités, et donc valable pour des infrastructures déjà réalisées : 70 % (Shoa, 2021)	
Commentaire	Cette estimation apparaît soumise à de nombreuses incertitudes. Notamment, les deux références utilisées ne considèrent pas forcément les mêmes typologies de bâtiment : uniquement de l'habitat collectif et des bâtiments d'activité pour Maysonnave <i>et al.</i> (2016), typologie inconnue pour Shoa (2021)	
Source d'information	Maysonnave <i>et al.</i> (2016), Shoa (2021)	

Tableau 20 : Coûts évités pour les collectivités pour le traitement de l'azote

3.2.4. Bilan : comparaison des coûts totaux des systèmes d'assainissement

En reprenant les résultats des paragraphes précédents (Des coûts d'investissement du système d'assainissement supérieurs en cas de tri à la source des excréments humains, Des coûts d'opération et de maintenance réduits en cas de système d'assainissement avec tri des excréments humains et Economies attendues pour le système d'assainissement en cas de tri à la source de l'urine grâce à la réduction de l'azote à traiter), il apparaît que le tri à la source des excréments humains entraîne un surcoût au niveau de l'investissement (20 – 54 milliards d'euros par an), qui pourrait en grande partie être compensé par une baisse des coûts d'opération et de maintenance, bien qu'il existe de grandes incertitudes à leur sujet.

Les économies réalisées à terme sur le fonctionnement de l'assainissement conventionnel (1 – 3,2 milliards d'euros par an), dont les potentielles recettes liées à la valorisation de l'azote de l'urine en agriculture (0,270 milliards d'euros par an) pourraient potentiellement dépasser les coûts des nouvelles filières de tri à la source (urines ou eaux noires).

Pour un **système avec filière séparative de l'urine**, le bilan général s'établirait entre **0,2 milliards d'économie et 1,3 milliards de surcoût par an** (cf. Tableau 21).

Coûts des systèmes d'assainissement (en milliards d'euros)	Systèmes conventionnels	Systèmes avec séparation des urines	Systèmes avec séparation des eaux noires
Coût à l'investissement	[134 – 167] Soit [3,4 – 4,2] /an	> 187 Soit > 4,7 /an	> 187 Soit > 4,7 /an
<i>Dont surcoût à l'investissement (par rapport aux systèmes conventionnels)</i>		> [+20 – +54] Soit > [+0,5 – +1,3] /an	> [+20 – +54] Soit > [+0,5 – +1,3] /an
Coût d'opération et maintenance	[3,7 – 4] /an	[3,3 – 3,7] /an	> 3,7 /an
<i>Dont surcoût d'opération et maintenance Dont coût évité pour le traitement de l'azote (par rapport aux systèmes conventionnels)</i>		> [-0,7 – +0] /an [-1 – -3,2] /an	> [-0,3 – +0] /an <i>Non défini</i>
Coût total	[7,1 – 8,2] /an ou 7,75 /an	> [8,0 – 8,4] /an	> 8,4 /an
<i>Dont surcoût ou coût évité (par rapport aux systèmes conventionnels)</i>		> [-0,2 – +1,3] /an	> [+0,2 – +1,3] /an
Commentaires	Ces estimations apparaissent soumises à de nombreuses incertitudes : au-delà des incertitudes de départ quant aux estimations de Shoa (2021), s'ajoute ici le fait que les fourchettes présentées correspondent à <u>des minimums</u> . Amortissement de l'investissement sur 40 ans		
Sources d'information	* Shoa (2021) ** Sispea (2021) *** Maysonnave et al. (2016)		

Tableau 21 : Bilan des coûts des différents systèmes d'assainissement (conventionnels / avec séparation des urines / avec séparation des eaux noires) en milliards d'euros

3.3. Coût évité sur le service de l'eau et de l'assainissement pour les ménages

Cette partie vise à évaluer le coût évité sur le service d'eau et d'assainissement supporté par les usagers. En effet, en cas de tri à la source de l'urine, les ménages utiliseraient des toilettes séparatives ou sèches qui permettraient une baisse de leur consommation d'eau, et par conséquent une baisse du coût du service d'eau et d'assainissement.

Aujourd'hui, la consommation annuelle moyenne d'eau d'un ménage est de 120 m³ dont 27 m³ sont utilisés pour les chasses d'eau (soit environ 20 %). La **facture moyenne des ménages pour le service d'eau et d'assainissement** est de **521 EUR par an**. Les hypothèses et modalités de calcul sont présentées dans le Tableau 23.

Le tri à la source de l'urine aurait un impact important sur la consommation d'eau des ménages. Différentes options techniques existent, avec des impacts différents sur la consommation d'eau : les toilettes sèches, où les urines et fèces sont collectés sans apport d'eau, permettraient le gain le plus important, en limitant la consommation d'eau de 22 %. Il existe également des solutions intermédiaires,

dites à « micro-chasse d'eau », qui permettraient une réduction significative de l'usage des chasses d'eau et par conséquent une réduction de 18 % de la consommation d'eau des ménages.

Sur le plan économique, ces baisses de consommation d'eau devraient en théorie entraîner une répercussion importante sur la facture des ménages. Mais il est en réalité peu probable que cette baisse ait lieu. En effet, les coûts de gestion de l'eau et de l'assainissement sont principalement des coûts fixes (de l'ordre de 70 % d'après Shoa, 2021) imputés aux infrastructures (notamment l'entretien des réseaux). Or, les modes de calculs du prix facturé aux ménages présentent un rapport inversé : 12 % pour la part fixe contre 88 % pour la part variable.

Aussi, dans le cas où une part importante de la population aurait recours à des toilettes sèches ou à micro-chasse d'eau, engendrant une baisse significative de la consommation d'eau au niveau des collectivités, ces dernières reverraient inévitablement le mode de calcul des factures de façon à entrer dans leur frais et pouvoir assurer la viabilité financière du service. Cette situation est un réel blocage économique sur la question des économies d'eau en France, qui nécessite une réflexion de fond pour le lever. Ainsi, il est préférable de présenter la réduction du coût de l'eau et de l'assainissement des ménages plutôt que le prix qui leur est facturé, en tenant compte de la répartition entre coûts fixes et coûts variables.

Ainsi considéré, si un ménage passait de toilettes conventionnelles à des **toilettes séparatives à micro chasse d'eau et double poussoir**, le coût du service d'eau et d'assainissement serait de 493 EUR par an, soit **une économie de 28 EUR et une réduction de 5 % par an**. En passant à des toilettes sèches, l'économie serait de **35 EUR par an soit 7 % par an**.

Types de toilettes	Toilettes conventionnelles	Toilettes sèches	Toilettes séparatives avec micro-chasse d'eau
Coûts évités du service d'eau + assainissement pour les ménages	-	35 EUR/an/ménage	28 EUR/an/ménage
		1,02 milliards EUR/an*	0,82 milliards EUR/an**
Volume des chasses d'eau	5 L/chasse d'eau 33 L/jour/personne 27 m³/an/ménage L/jour/personne	0 L	0,3 et 2,5 L/chasse d'eau (double poussoir) 6,5 L/jour/personne 7 m³/an/ménage
Éléments considérés	Coût moyen basé sur une consommation de 120 m³ d'eau par an par ménage et avec un prix moyen de 4,24 EUR / m³ Un ménage en France : 2,22 habitants en moyenne (INSEE, 2023)		
Hypothèses	On considère qu'une personne utilise quotidiennement 5 chasses d'eau pour les mictions et 2 chasses d'eau pour les mélanges urines et fèces. * 100 % des ménages ont recours à des toilettes sèches ** 100 % des ménages ont recours à des toilettes séparatives avec micro-chasse d'eau		
Commentaire	Valeurs moyennes, intégrant de façon indistincte les ménages en assainissement collectif ou non collectif, en logement individuel ou collectif. Grande variabilité territoriale qui n'est pas prise en compte ici.		
Source d'information	Sispea (2021)		

Tableau 23 Diminution du coût du service d'eau et d'assainissement grâce au recours aux toilettes sèches ou séparatives à chasse d'eau réduite

3.4. Coûts évités sur les engrais pour les agriculteurs

3.4.1. Une diminution des coûts d'engrais de synthèse pour les agriculteurs

Avec le tri à la source et la valorisation de l'urine, les agriculteurs pourraient profiter d'économies substantielles, les nutriments contenus dans l'urine représentant une valeur économique. En effet, le recours aux urino-fertilisants pourraient leur permettre de réduire leurs achats d'engrais de synthèse.

Pour l'azote (le nutriment le plus important en termes agronomiques), les agriculteurs français ont acheté en 2024 pour **1,7 milliards d'euros d'azote sous forme d'engrais de synthèse** (notons d'emblée la grande variabilité du prix de l'azote dans les engrais de synthèse en fonction du contexte géopolitique – cf Coût de la dépendance à l'importation de matières fertilisantes : le tri à la source de l'urine comme composante d'une autonomie stratégique de la France). **En comparaison, l'azote contenu dans l'urine** des Français a actuellement une valeur économique de **270 millions d'euros** (son poids annuel est de 268 820 t / an). Ainsi, **16 % du coût d'achat de fertilisants azotés de synthèse des agriculteurs pourrait être réduit**, en considérant que l'urine serait fournie gratuitement aux agriculteurs.

En outre, pour l'agriculture biologique qui n'a pas recours aux engrais de synthèse, les excréments humains offrent une alternative dans la recherche d'intrants, dans la perspective d'une baisse tendancielle de l'élevage (20 % du cheptel bovin à l'horizon 2050). Le Tableau 24 présente les modalités de calcul.

Part du coût d'achat d'engrais de synthèse évité pour les agriculteurs		16 %
Valeur actuelle de l'azote contenu dans l'urine des Français (décembre 2024)		0,27 milliards EUR / an
Prix moyen de l'engrais azoté de synthèse livré en France en 2022-2023		1,7 milliards EUR / an
Eléments considérés	Production d'azote par l'urine des Français : 0,011 kg N / jour / personne	
Hypothèses	On considère un prix moyen de l'azote de 1000 EUR / t sur la base d'une moyenne des prix d'engrais de synthèse azotés (prix moyen national de l'azote de synthèse en août 2024 : basé sur la solution azotée : 854 EUR/t N ; basé sur l'ammonitrate : 1 159 EUR/t N) Urine fournie gratuitement aux agriculteurs, différences de pratiques d'épandages non considérées	
Commentaire	Variabilité des prix selon les types d'engrais azoté non considérée Variabilité des prix au cours du temps importante	
Sources d'information	Martin <i>et al.</i> (2023) (d'après Friedler <i>et al.</i> , 2013) et UNIFA (2022-2023)	

Tableau 24 : Valeur économique de l'azote contenu dans l'urine et prix des engrais de synthèse livrés en France

3.4.2. Des coûts et intérêts variables pour les agriculteurs

L'adoption de l'urine pour un usage agricole implique néanmoins des **changements de pratiques** importants pour les agriculteurs, pouvant engendrer des surcoûts.

L'urine, utilisée comme fertilisant, présente un **ratio spécifique de nutriments** - ratio N:P de 11.8, N:K de 4.2 - **qui n'est pas adapté à toutes les parcelles** (Friedler *et al.*, 2013). Aussi, selon les analyses de sols, des apports complémentaires d'engrais peuvent être nécessaires dans certains cas.

Les **besoins en fertilisants varient également en fonction des cultures** : plus de 160 kg/ha d'azote minéral sont nécessaires pour le blé tendre, 82 kg/ha pour la betterave sucrière et seulement 2,7 kg/ha pour le soja (Agreste, 2021 : Enquête pratiques culturales 2017).

De plus, l'azote contenu dans l'urine n'est pas aussi concentré que dans les engrais de synthèse, ce qui nécessite un temps de travail plus important pour l'épandage. **L'efficacité fertilisante de l'urine**

n'est en outre pas identique à celle des engrais chimiques, ce qui demande une adaptation des pratiques de fertilisation en fonction des cultures et des types de sols.

Les contraintes pour les agriculteurs varient également en fonction des types de cultures et des infrastructures disponibles. Pour les cultures bénéficiant d'une **irrigation au goutte-à-goutte**, l'apport d'urine peut se faire quasiment sans surcoût pour l'exploitant. En revanche, de nombreux agriculteurs en grande culture ne disposent **pas d'équipements appropriés pour épandre l'urine non transformée**. Dans tous les cas, un **investissement minimal dans une infrastructure de stockage** (cuves) est indispensable.

Néanmoins, les coûts d'épandage pour les cultures du blé présenteraient des économies substantielles dans un scénario d'utilisation d'urino-fertilisants plutôt que d'engrais minéraux : de l'ordre de 50 millions d'euros par an à l'échelle nationale – soit 10 EUR/ha de blé cultivé (Esculier et al., 2022).

Il existe également des **enjeux d'acceptabilité des agriculteurs**, qui doivent être convaincus des avantages et de la sécurité de cette pratique pour l'adopter pleinement. L'incitatif économique à adopter l'urine n'est pas le même en fonction des cultures, et devra donc être pensé en fonction de la filière agricole considérée. Ainsi, si l'urine pourrait être théoriquement vendue aux agriculteurs, en raison de sa valeur fertilisante, il apparaît difficile d'en évaluer la valeur économique a priori.

3.5. Coût de la dépendance à l'importation de matières fertilisantes : le tri à la source de l'urine comme composante d'une autonomie stratégique de la France

Le système d'assainissement ainsi que le modèle agricole actuels génèrent une forte dépendance vis-à-vis de pays étrangers pour notre production alimentaire, qu'il s'agisse d'apports d'énergie fossile (aujourd'hui indispensable pour l'azote) ou de phosphates.

Le coût de l'énergie fossile comme celui des phosphates connaissent des variations importantes en raison du contexte géopolitique. Cette volatilité est attendue à la hausse dans les décennies à venir, compte tenu du raidissement des relations internationales. Pour rappel en effet, tandis qu'en décembre 2024, le cours de l'ammonitrate est de 342 EUR / t, celui-ci s'échangeait à près de 1 230 EUR / t (400 % d'augmentation) en février 2022 en raison de l'entrée en guerre de l'Ukraine. Dans ces conditions, considérant que l'urine produite par les Français a actuellement une valeur de 270 millions d'euros par an (cf. Des coûts et intérêts variables pour les agriculteurs), elle aurait eu une valeur de 1,2 milliards d'euros en mars 2022.

Aussi, si pour des raisons géopolitiques, l'ammonitrate en venait à être échangé à 3 420 EUR / t, (1000 % d'augmentation), l'urine des Français serait alors évaluée à 2,7 milliards d'euros, s'approchant de l'ordre de grandeur des coûts d'opération et de maintenance de l'ensemble du système d'assainissement actuel. Dans ces conditions, la rentabilité économique d'un dispositif de séparation à la source serait renforcée. Le Tableau 25 présente les modalités de calcul.

La dépendance aux matières fertilisantes présente également des implications géopolitiques. La séparation à la source de l'urine permettrait de contribuer à une autonomie stratégique sur le long terme. Pour certains chercheurs, ces croisements entre intérêts géostratégiques et transition écologique ouvrent la voie pour un développement d'une « écologie de guerre », intégrant la gestion des ressources dans le cadre plus large de la sécurité nationale (Charbonnier, 2022).

Date / contexte	2024 (valeur actuelle moyenne)	Mars 2022 (début de la Guerre en Ukraine)	Contexte potentiel d'instabilité
Coût de l'azote (prix de l'ammonitrate 33,5%)	342 EUR / t	1 230 EUR / t	1 230 – 3 420 EUR / t
Valeur théorique de l'azote contenu dans l'urine des Français	0,27 milliards EUR / an	1,2 milliards EUR / an	1,2 - 2,7 milliards EUR / an
Hausse potentielle de la valeur de l'azote contenu dans l'urine des Français en contexte d'instabilité			400 - 1 000 %
Éléments considérés	Quantité d'azote contenu dans l'urine des Français (calculs Ecogeos)		
Hypothèses	Azote à 1 000 EUR / t sur la base de 342 EUR / t ammonitrate 33,5% en décembre 2024 Azote à 4 000 EUR / t sur la base de 1 230 EUR / t ammonitrate 33,5% en mars 2022 (début de la guerre en Ukraine)		
Commentaire	* en cas d'importation en ammonitrate impossible		
Source d'information	UNIFA, 2024 Cours de l'ammonitrate : Terre-net.fr		

Tableau 25 : Coût de la dépendance à l'importation de matières fertilisantes. Valeur potentielle de l'azote contenu dans l'urine des Français en fonction du contexte géopolitique

3.6. Coûts de l'évitement des impacts environnementaux grâce à la séparation à la source de l'urine dans le système agricole actuel

Il apparaît également que la séparation à la source de l'urine est porteuse de nombreux bénéfices en termes environnementaux et ceci sur plusieurs plans (cf. Impacts environnementaux sur les milieux) : changement climatique, eutrophisation, particules fines, etc.

3.6.1. Coût évitable lié aux émissions de CO₂

La quantification de ces bénéfices écologiques en termes monétaires est controversée dans le champ scientifique. Il existe des travaux qui tentent de quantifier le coût de l'inaction climatique, souvent exprimé par le concept de *prix du carbone* ou de *coût social du carbone* (CSC), lequel mesure l'impact économique global des émissions d'une tonne de CO₂ en fonction du temps (OCDE, 2019).

L'impact CO₂ de la séparation à la source de l'urine à l'échelle française est évalué à **85 MT eq. CO₂ / an** (cf. Une réduction substantielle de l'impact sur le changement climatique). Dans ces conditions et en s'appuyant sur les modalités de calculs des travaux précités, le **coût annuel de la non-séparation à la source de l'urine** est évalué à **290 – 380 millions d'euros avant 2030** et à **400 – 930 millions d'euros sur la période 2030-2050** (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ce coût n'intègre que l'impact du CO₂ émis et évitable, et exclut l'ensemble des autres impacts pour lesquels il n'existe pas de méthode de quantification connue.

Coût évitable des émissions de CO ₂ par la séparation à la source de l'urine		Sur 2025-2030 : 290 - 380 millions EUR/an Sur 2030-2050 : 400 - 930 millions EUR/an
Commentaire	Calcul du coût évitable des émissions de CO₂ : L'impact de la séparation à la source de l'urine est évalué à 85 MT eq. CO ₂ /an (Une réduction substantielle de l'impact sur le changement climatique). Quantité de CO ₂ ou N évitable : calculs sur la base de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023)	
	Hypothèses : « En France, la « valeur du carbone » fait maintenant partie des « valeurs unitaires » citées dans les lignes directrices en matière d'analyse coûts-avantages, au même titre que la valeur de la vie statistique et le taux d'actualisation. Les valeurs utilisées démarrent à environ 27 USD (32 EUR) par tonne de CO ₂ et augmentent au rythme de 5,8 % par an jusqu'en 2030, puis au taux d'actualisation de 4,5 % ensuite. » (OCDE, 2019)	
Source d'information	Emissions de CO ₂ : (Martin <i>et al.</i> , 2023) ; Coût social du carbone (OCDE, 2019)	

Tableau 26 : Coût évitable des émissions de CO₂ évitables par la séparation de l'urine

Le coût d'abattement du CO₂ grâce à la séparation à la source de l'urine, autrement dit le **coût de la tonne de CO₂ évitée** est évalué à **194 EUR/t CO₂** en tenant compte **uniquement du coût de la filière urine**. En tenant compte en outre des économies réalisées sur le système d'assainissement, le coût d'abattement du CO₂ apparaît beaucoup plus faible : **36 – 67 EUR/t CO₂**. Ce chiffre apparaît comme modéré, comparés aux chiffres moyens avancés par France Stratégie pour la rénovation énergétique des logements, de l'ordre de 60 - 390 EUR/t CO₂⁶ (France Stratégie, 2023).

Coût d'abattement du CO ₂ en tenant compte :	• des coûts de la filière urine	194 EUR/t CO ₂
	• des coûts de la filière urine	36 – 67 EUR/t CO ₂
	• des économies réalisées sur le système d'assainissement	
Commentaires	CO ₂ évité : 6 433 681 t / an (Une réduction substantielle de l'impact sur le changement climatique) Coût annuel de la filière urine : 1,25 milliards EUR/an (Coûts de la séparation à la source de l'urine) Economies sur le système d'assainissement : 0,82 – 1,02 milliards EUR / an (Coût évité sur le service de l'eau et de l'assainissement pour les ménages)	
Source d'information	Hypothèses pour le coût social du carbone (OCDE, 2019) Quantité de CO ₂ ou N évitable : calculs sur la base de l'ACV de Martin <i>et al.</i> (2023) Coûts et économies attendues sur le système d'assainissement : calculs ECOGEOS	

Tableau 27 : Coût de l'abattement du CO₂

3.6.2. Coût évitable des autres impacts environnementaux

La monétarisation des autres impacts environnementaux apparaît plus incertaine, seul un nombre très réduit d'études existant sur le sujet. Pour autant, des estimations ont pu être effectuées sur la base de l'étude CGDD (2011) ainsi que de travaux de Santé Publique France (SPF, 2025) :

- Les **émissions d'azote dans les milieux aquatiques** (cf. Une limitation de l'eutrophisation des milieux) sur les services des eaux représentent un coût important, évalué à **30 – 70 millions EUR / an** pour les seules émissions évitables grâce à la séparation à la source de l'urine.
- Le **coût de la pollution atmosphérique évitable liée à la production de particules fines** est estimée à **21- 122 millions EUR/an**.

⁶ Coût d'abattement social en bilan carbone de la rénovation des logements, variant en fonction de la catégorie énergétique visée(A, B ou C) avec électrification du vecteur).

Ces chiffres sont calculés à modèle agricole constant, et ne tiennent pas compte des baisses de demande en azote dans le cas d'une transition agroécologique.

Coût évitable des autres impacts environnementaux par la séparation à la source de l'urine	
Coût évitable des émissions d'azote dans les milieux aquatiques pour les services des eaux	30 – 70 millions EUR/an
Coût évitable des émissions de particules fines dans l'atmosphère	21 - 122 millions EUR /an
Autres coûts évitables	Non quantifié
Commentaire	<u>Calcul du coût évitable des émissions d'azote dans les milieux aquatiques pour les services des eaux :</u> Le coût des émissions d'azote évitées dans les milieux aquatiques de l'eutrophisation des milieux pour les services des eaux et assainissement inclut le nettoyage des captages eutrophisés, le coût entraîné par l'utilisation de nouveaux captages plus éloignés, le coût de mélange des eaux brutes par les producteurs d'eau potable, ainsi que le surcoût du traitement de potabilisation lié aux nitrates (CGDD, 2011). Les nitrates agricoles, ainsi que les pollutions aux pesticides, également pris en compte dans l'étude du CGDD, ont été exclus. <u>Calcul du coût de la pollution atmosphérique aux PM 2.5 :</u> Le coût total de la pollution aux PM 2.5 en France a été rapporté à la pollution évitable par la mise en place de la séparation à la source de l'urine (l'effet de la pollution est considéré comme proportionnel aux émissions).
Source d'information	Emissions de PM 2.5 évitables : (Martin et al., 2023) Coût évitable des émissions d'azote : (CGDD, 2011) Coût total de la pollution aux PM 2.5 en France (World Bank, 2020; SPF, 2025) Emissions totales de PM 2.5 en France (Agence européenne de l'environnement, 2018)

Tableau 28 : Coûts des impacts environnementaux évitables par la séparation de l'urine

3.7. Synthèse des indicateurs économiques calculés au niveau national

Le Tableau 29 présente la synthèse des indicateurs économiques calculés.

1. Coût des nouvelles filières de valorisation de l'urine			
Coût à l'investissement (habitat collectif seul)		30 milliards EUR soit 0,75 milliards EUR / an sur 40 ans	
Coût d'opération et maintenance (habitat collectif seul)		+ 0,5 milliards EUR / an	
2. Comparaison des coûts des systèmes d'assainissement (en milliards d'euros)			
Coûts des systèmes d'assainissement (en milliards d'euros)	Systèmes conventionnels	Systèmes avec séparation des urines	Systèmes avec séparation des eaux noires
Coût à l'investissement	[134 – 167] Soit [3,4 – 4,2] /an	> 187 Soit > 4,7 /an	
Dont surcoût à l'investissement (par rapport aux systèmes conventionnels)		[+20 – +54] Soit [+0,5 – +1,3] /an	
Coût d'opération et maintenance	[3,7 – 4] /an	[3,3 – 3,7] /an	> 3,7 /an
Dont surcoût d'opération et maintenance		> [-0,7 – +0] /an	> [-0,7 – +0] /an
Dont coût évité pour le traitement de l'azote (par rapport aux systèmes conventionnels)		[-1 – -3,2] /an	Non défini
Coût total	[7,1 – 8,2] /an ou 7,75 /an	> [8,0 – 8,4] /an	> 8,4 /an
Dont surcoût ou coût évité (par rapport aux systèmes conventionnels)		> [-0,2 – +1,3] /an	> [+0,2 – +1,3] /an
3. Coûts évités pour les collectivités pour le traitement de l'azote en cas de séparation de l'urine			
Coûts évités pour les collectivités pour le traitement de l'azote à l'échelle de la France en cas de système avec séparation de l'urine		0,7 – 3,2 milliards EUR / an	
4. Coût évité sur le service de l'eau et de l'assainissement pour les ménages			
Coût évité sur le service de l'eau et de l'assainissement pour les ménages		0,82 – 1,02 milliards EUR / an	
5. Coûts évités sur les engrais pour les agriculteurs			
Part du coût d'achat d'engrais de synthèse évité pour les agriculteurs		16 %	
Valeur actuelle de l'azote contenu dans l'urine des Français (décembre 2024)		0,27 milliards EUR / an	
6. Coût de la dépendance à l'importation de matières fertilisantes			
Valeur potentielle de l'azote contenu dans l'urine des Français (contexte d'instabilité future)		0,27 – 2,7 milliards EUR / an	
Hausse potentielle de la valeur de l'azote contenu dans l'urine des Français par rapport à aujourd'hui (2024)		400 - 1 000 %	
7. Coûts de l'évitement des impacts environnementaux par séparation à la source de l'urine			
Coût évitable des émissions de CO ₂	Sur la période 2025-2030 : 0,29 - 0,38 milliards EUR / an Sur la période 2030-2050 : 0,40 - 0,93 milliards EUR / an		
Coût des émissions d'azote évitées dans les milieux aquatiques pour les services des eaux et assainissement		0,03 – 0,07 milliards EUR / an	
Coût évitable des émissions de particules fines dans l'atmosphère		0,02 – 0,12 milliards EUR / an	
Autres coûts évitables		Non quantifié	

Tableau 29 : Synthèse des indicateurs économiques

4. Dossier cibles et flux prioritaires

RÉSUMÉ DU DOSSIER CIBLES ET FLUX PRIORITAIRES

Ce dossier présente les dispositifs techniques et les enjeux techniques et organisationnels liés à la mise en place de la séparation des excréments humains. Il indique des cibles et flux prioritaires pour le développement des différentes filières à l'échelle française dans les années à venir et propose un plan d'action, aux horizons 2030 et 2050.

À l'horizon 2030, il s'agira de soutenir des essais pilotes pour tester les solutions adaptées à chaque contexte et déployer les solutions déjà éprouvées ; à l'horizon 2050, un déploiement plus large de ces solutions pourra être envisagé.

La mise en œuvre d'actions à l'horizon 2030-2050 nécessite un soutien institutionnel et une sensibilisation de différents acteurs (acteurs publics, agriculteurs, promoteurs, ménages...).

Principaux enseignements

- Un premier enjeu réside dans la nécessité de clarifier le statut des excréments humains en tant que fertilisants au niveau réglementaire.
- Une diversité de systèmes techniques de collecte existe, comme les urinoirs, les toilettes sèches et les dispositifs de collecte localisés. Il ne ressort pas de solution unique adaptée à l'ensemble des contextes et un panel de solutions doit être mis en œuvre à l'échelle nationale, selon les typologies d'habitat et de territoires (voir tableau ci-dessous). A noter que certaines solutions sont encore peu matures et nécessitent un développement.

Mode de séparation	Type de toilettes	Type de bâtiment expérimenté en France	Type de territoire expérimenté en France	Niveau de maturité en France
Urines	Séparatives à micro chasse d'eau	Habitat individuel		En développement
		Habitat individuel dense		En développement
		Habitat collectif et bâtiment d'activité		En développement
	Urinoirs	Bâtiment d'activité		En développement
Fèces	Séparatives	Habitat individuel		Opérationnel
Eaux noires	Unitaires sèches	Habitat individuel		Opérationnel
	Unitaires sous-vide	Habitat collectif et bâtiment d'activité	Non expérimenté	Expérimental
Trois flux	Séparatives sèches	Habitat individuel		En développement
	Séparatives à micro chasse d'eau	Bâtiment d'activité	Non expérimenté	Expérimental



Tableau de synthèse des cibles et flux prioritaires par type de territoire

- La collecte des urines par urinoirs est à prioriser sur les toilettes séparatives, de manière à limiter le risque sanitaire de contamination fécale. Le traitement des urines par stockage représente une solution simple et efficace pour limiter les pathogènes et préférable dans une logique d'économie et d'efficacité énergétique.
- Les constructions neuves d'habitat collectif, les habitats individuels proches d'activités agricoles, les bâtiments d'activité mais également les lieux de transmission comme les écoles apparaissent comme des cibles prioritaires.
- Il peut y avoir un intérêt à prioriser les bassins versants vulnérables à la pollution des eaux de surface en raison d'une forte concentration de population ainsi que les bassins versants Adour-Garonne, Rhône-Méditerranée et Corse du fait d'un plus faible traitement de l'azote des eaux usées dans les systèmes d'assainissement actuels. Les régions présentant des filières agricoles en capacité d'adopter les urino-fertilisants sans surcoût (par exemple avec irrigation en goutte à goutte) sont également à favoriser.
- Pour garantir le bon fonctionnement de la filière, les acteurs agricoles devront être associés à sa construction. Une relation entre la production locale d'urino-fertilisant et une relocalisation de la production alimentaire (maraichage), par exemple dans le cadre des projets alimentaires territoriaux, serait pertinente.
- Pour garantir la faisabilité technico-économique, la séparation à la source nécessite de limiter les distances de transport entre les lieux de production et de valorisation. Il est néanmoins estimé que 70 % des urines sont valorisables sur des terres agricoles dans un rayon de 10 km. La logistique de collecte reste toutefois un enjeu important, en l'absence de solutions techniques et organisationnelles éprouvées.
- Le financement pourrait s'appuyer sur des dispositifs existants. Les Certificats d'économie d'énergie (CEE) représentent une piste potentielle mais ce dispositif n'est pas totalement adapté car seule une faible part des économies d'énergie réalisables serait prise en compte par ce dispositif.
- Des financements complémentaires devront être mobilisés, au niveau des syndicats en charge des eaux et assainissement, des agences de l'eau ou de l'ADEME. De nouvelles sources de financement restent à construire, notamment au titre de la contribution à l'autonomie azotée qui représente un intérêt stratégique pour l'agriculture française. Les bénéfices environnementaux et sanitaires pourraient également faire l'objet de financements spécifiques.

SUMMARY OF THE ASSESSMENT OF TECHNICAL SOLUTIONS AND THE ACTION PLAN

This section presents the technical and organizational issues involved in implementing the separation of human excreta. It indicates the population and types of excreta (urine or faeces) which are to be prioritized for the development of the recovery systems in France over the coming years and proposes an action plan until 2030 and 2050.

By 2030, the aim will be to support pilot trials to test solutions adapted to each context and to implement proven solutions; by 2050, wider implementation of these solutions could be envisaged.

The implementation of actions from now to 2030-2050 will require institutional support and awareness-raising among various stakeholders (public bodies, farmers, developers, households, etc.).

Key findings

- The first challenge is the need to establish the regulatory status of human excreta as fertilisers.
- A variety of technical collection systems exist, such as urinals, dry toilets and localised collection systems. No single solution is suitable for all contexts, and a range of solutions needs to be implemented across the country, depending on the type of housing and the regional context. It should be noted that some solutions are still immature and need to be developed.

Type of excreta (or mixes)	Type of toilet	Type of building tested in France	Type of area tested in France	Development status France
Urine	Micro-flush toilets with urine diversion	Individual? housing	 	In development
		Dense detached housing	 	In development
		Collective housing and commercial buildings	 	In development
	Urinals	Commercial building	 	In development
Faeces	Urine diverting dry toilet	Detached housing	 	Operational
Blackwater	Dry toilets	Detached housing	 	Operational
	Vacuum toilet	Collective housing and commercial buildings	Not tested	Experimental
Three streams	Dry toilet	Detached housing	 	In development
	Micro-flush separators	Commercial building	Not tested	Experimental



Summary table of types of excreta and toilet systems which are to be prioritized by type of area

- Urine collection via urinals should be prioritised over separator toilets in order to limit the health risk of faecal contamination. Storage as urine treatment is a simple and effective solution for limiting pathogens and is preferable in terms of energy saving and efficiency.
- New collective housing, detached housing close to agricultural activities, commercial buildings but also places of education such as schools appear to be priority targets.
- In terms of geographical priority at national level, there may be an interest in prioritizing the regions that are vulnerable to surface water pollution due to a high population density and areas

with poorer wastewater treatment systems. Regions with agricultural sectors capable of adopting urino-fertilisers at no extra cost (e.g. with drip irrigation) should also be favoured.

- To ensure that the sector functions successfully, agricultural stakeholders should be involved in its development. There is an opportunity to connect collection of urino-fertiliser to existing projects for local food production
- To guarantee technical and economic feasibility, source separation requires limiting transport distances between the production and recovery sites. However, it is estimated that 70% of urine can be reused on farmland within a 10 km radius. The logistics of collection remain a major challenge in the absence of proven technical and organisational solutions.
- Funding could be based on existing schemes. Energy Saving Credits (CEE in French) represent a potential avenue, although only a small proportion of the achievable energy savings would be taken into account by this scheme.
- Additional funding will have to be obtained from syndicates in charge of water and wastewater, water agencies and ADEME. New sources of funding still need to be identified, particularly for the contribution to nitrogen autonomy, which is of strategic interest to French agriculture. The environmental and health benefits could also attract specific funding.

4.1. Quels systèmes techniques existants pour le tri des excréments ?

Il existe plusieurs filières de séparation des excréments humains (cf. Figure 1). La mise en œuvre de ces filières nécessite des changements au niveau des dispositifs de collecte, et plus généralement des changements importants dans les systèmes d'assainissement. Sont présentés ici des dispositifs techniques expérimentés en Europe à l'échelle de projets pilotes, en indiquant les types de bâtiments (habitat individuel, habitat collectif, bâtiment collectif d'activité) et de milieu (rural, péri-urbain, urbain) et d'intervention (construction neuve, rénovation, autre) auxquels ils sont adaptés.

4.1.1. Filière urine

La filière urine, autrement nommée « eaux jaunes », consiste à collecter séparément les urines grâce à des toilettes séparatives (cf. Toilettes séparatives avec micro chasse d'eau) ou des urinoirs (cf. Urinoirs) pour en valoriser les nutriments dans les cultures agricoles.

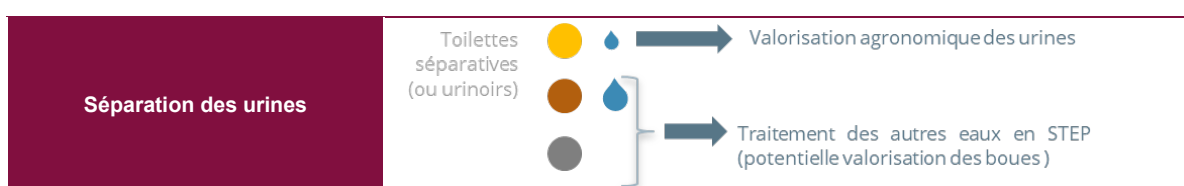


Figure 6 : Filière de tri à la source des urines

4.1.1.1. Collecte de l'urine

4.1.1.1.1. Toilettes séparatives avec micro chasse d'eau

La séparation des urines seules peut être faite par la mise en place **de toilettes séparatives avec micro chasse d'eau**. Ces toilettes comportent une cuvette séparative urine/fèces et sont raccordées à deux canalisations.

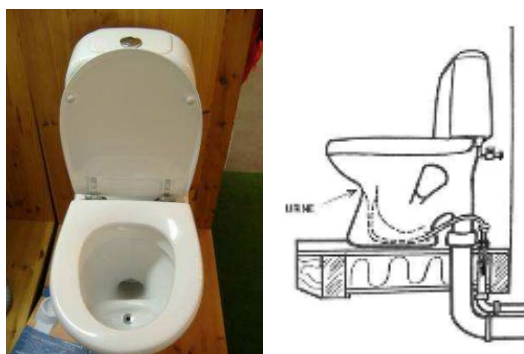


Figure 7 : Toilettes séparatives avec chasse d'eau (gauche : (TDM Association, 2008) ; droite : Caby, 2013 d'après (Maysonnave et al., 2016))

Les fèces rejoignent les autres eaux (eaux grises) dans le réseau d'assainissement collectif tandis que les urines sont généralement stockées avant épandage. En effet, même si de nombreux modes de traitement de l'urine existent à l'échelle du laboratoire, les projets pilotes en Europe ont utilisé pour la grande majorité le stockage de l'urine durant 6 mois pour assurer leur hygiénisation par dénitrification, puis valorisation par épandage sur les cultures agricoles.

Selon le type d'habitation, les modalités de collecte, stockage et transport de l'urine diffèrent.

En habitat individuel – constructions neuves ou rénovations

Pour les **habitations individuelles**, l'urine peut être acheminée dans une **cuve à l'échelle de l'habitation ou d'un quartier**.

- Dans la ville de Tanum (Suède, années 1990), une partie des 500 maisons individuelles concernées par la collecte séparée de l'urine ont été équipées chacune avec une cuve de stockage de minimum 3 m³. La collecte de l'urine est effectuée une fois par an par camion, soit par une entreprise privée soit directement par un agriculteur (Coalition Clean Baltic, 2009)

En habitat collectif ou dans les bâtiments d'activité – constructions neuves

En **habitat collectif ou dans les bâtiments d'activité**, la collecte de l'urine peut aussi être envisagée grâce à la mise en œuvre, lors de la construction des bâtiments, de toilettes séparatives à chasse d'eau, avec un réseau de canalisation dédié pour la collecte, acheminant à l'échelle du bâtiment les urines dans une cuve en rez-de-chaussée ou sous-sol.

- Dans l'éco-quartier Understenshøjden (Stockholm, Suède, 1995), les toilettes séparatives de 44 appartements sont raccordées à un réseau commun de collecte des urines puis acheminées vers un lieu de stockage constitué de 2 citernes de 40 m³ chacune. La collecte est annuelle et est réalisée par un agriculteur (Jönsson, 2001; Coalition Clean Baltic, 2009; Arceau, 2021).
- Le projet d'écoquartier en milieu urbain de Saint Vincent de Paul à Paris XIV^{ème} envisage pour 2026 la construction de 600 logements en habitat collectif et d'équipements publics (gymnase et groupe scolaire) équipés de toilettes séparatives et d'urinoirs (Leperche, 2023).

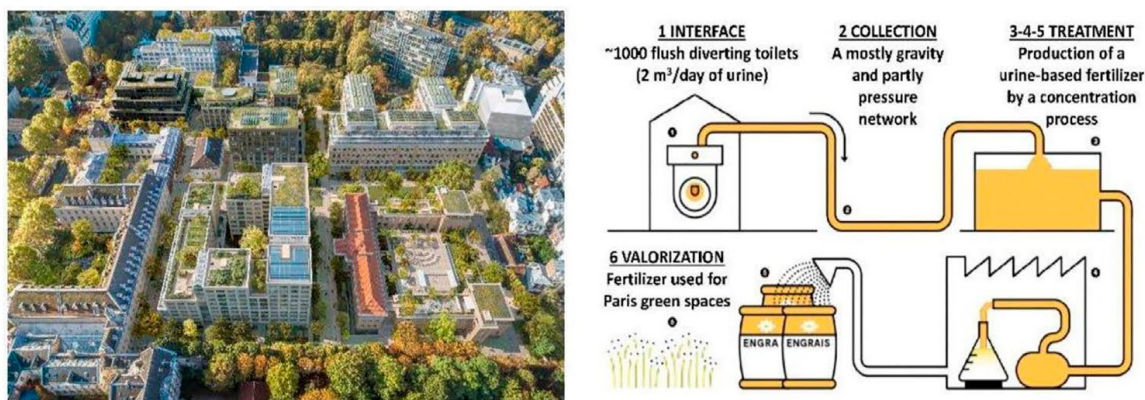


Figure 8 : Projet d'éco-quartier Saint Vincent de Paul et schéma du système de collecte et valorisation de l'urine (Joveniaux et al., 2022)

4.1.1.1.2. Urinoirs masculins ou féminins

La collecte de l'urine peut également se faire grâce à des **urinoirs**, en complément ou non de toilettes, en particulier dans les bâtiments d'activités où les usagers sont présents en journée. Les urinoirs peuvent être **masculins** ou **féminins** (sur lesquels les femmes ne s'assoient pas), ces derniers étant parfois aussi nommés non genrés ou mixtes.



Figure 9 : Urinoir masculin sec relié (Joveniaux, 2023) et urinoir féminin (<https://urinoirmarcelle.fr/>)

En France, deux projets pilotes récents peuvent être cités en particulier (Joveniaux, 2023):

- Le projet porté par EPA à Paris-Saclay (Palaiseau) qui a mis en œuvre en 2023, au sein d'un bâtiment tertiaire de bureaux à quatre étages **dix urinoirs masculins secs**, un réseau de collecte gravitaire, une cuve de 20 m³ en sous-sol d'immeuble et un traitement par deux filtres (filtre à Pitribon » et filtre à charbon) ;
- Le projet Urocyclus école ENS Paris-Saclay (2021-2024) qui prévoit la mise en œuvre de **deux urinoirs non genrés** en complément de toilettes et urinoirs masculins, en vue d'étudier le rapport des usagers à ce dispositif novateur.

4.1.1.1.3. Dispositifs de collecte d'appoint ad-hoc et low tech

En cas d'absence de projet porté par le « haut », les citoyens peuvent mettre en œuvre des dispositifs techniques de collecte de l'urine ad hoc peu coûteux, souvent auto-construits, plus ou moins élaborés. Le projet Enville a permis d'identifier un éventail de dispositifs de ce type dans des logements disposant déjà de toilettes conventionnelles (Esculier et Raguet, 2024).



Figure 10 : Dispositifs ad-hoc et low tech pour collecter l'urine (Esculier et Raguet, 2024)) ; de gauche à droite : urinoir d'appoint relié à un bidon (d'après Toilet for People), siège ou urinoir assis (d'après Toilet for people), bidon 5L et réducteur, avec raccords PVC de plomberie

Dans tous les cas, ces dispositifs permettent de recevoir une quantité d'urine restreinte – de 1 à 5L – et nécessitent une collecte fréquente : de l'ordre d'une fois par semaine. Dans le cadre du projet Enville, la collecte s'effectue par les usagers qui transportent leur bidon de 5 L :

- à un point d'apport volontaire : une station de transvasement comprenant une cuve de collecte de 130 L ;
- ou dans une station mobile de collecte avec cuve de 20 L par la suite transportée par camion sur un lieu de stockage intermédiaire.



Figure 11 : Dispositifs de transport de l'urine (Esculier et Raguet, 2024) ; de gauche à droite : transport de bidons d'urine à vélo par l'usager du domicile au point d'apport volontaire ; station de transvasement de l'urine en point d'apport volontaire ; station mobile de transport de l'urine à la ferme

Ces dispositifs peuvent être envisagés dans tous les types de logements existants (individuels ou collectifs) mais nécessitent une volonté forte des usagers de collecter l'urine.

4.1.1.1.4. Autres dispositifs

Il existe également d'autres dispositifs proposant un traitement de l'urine in situ, permettant une concentration des nutriments pour la production d'urino-fertilisants solides et une récupération de l'eau. La fondation Bill et Melinda Gates soutient de nombreux projets de toilettes hi-tech depuis 2011 dans le cadre de son programme « Reinvent the Toilet Challenge »⁷. La majorité des projets soutenus se focalisent sur les enjeux sanitaires et d'économie d'eau. À ce jour, aucun dispositif valorisant l'urine n'a encore dépassé le cadre de l'expérimentation.

4.1.1.2. Modes de traitement de l'urine par stockage (auto-hygiénisation)

Dans le cadre de ce dossier, il est convenu de ne considérer le traitement de l'urine que par le stockage⁸. Le produit ainsi obtenu est appelé **lisain**.

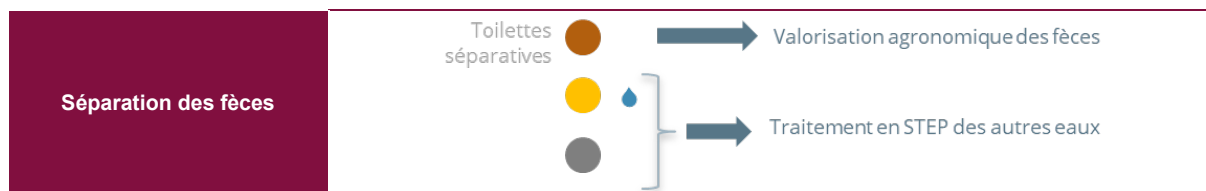
L'urine humaine présente un risque sanitaire significativement plus faible que les matières fécales, principalement en raison de la rareté des pathogènes urinaires par rapport aux pathogènes entériques contenus dans les fèces, en particulier dans les pays tempérés (Esculier et Raguet, 2024). Cependant, la contamination fécale croisée constitue le principal facteur de risque lors de l'utilisation agricole de l'urine, notamment dans les systèmes de collecte utilisant des toilettes à séparation. Une **collecte stricte par urinoir, sans contact avec des matières fécales, réduit considérablement ce risque**.

Le stockage de l'urine agit comme un traitement naturel grâce au phénomène d'auto-hygiénisation. La transformation de l'urée en ammoniac élève le pH à 9,1, une condition qui, combinée à la présence d'ammoniac, réduit efficacement les micro-organismes pathogènes, même en cas de contamination fécale croisée. La durée de stockage nécessaire varie selon les conditions de température, le type de culture fertilisée, et le niveau de contamination.

Après un stockage de l'urine six mois à 20°C, celle-ci peut être utilisée sans restriction spécifique. En revanche, pour un stockage d'une durée inférieure à 6 mois, il est préférable, en l'absence d'étude extensive sur les risques sanitaires, de limiter son utilisation aux cultures non sensibles, telles que les fleurs ornementales, les cultures consommées cuites ou transformées, et les arbres fruitiers. Pour des cultures consommées crues, il est conseillé d'éviter l'épandage direct de lisain en pleine terre ou de prolonger le stockage pour assurer la sécurité sanitaire.

4.1.2. Filière fèces

La filière fèces séparées consiste à collecter les fèces séparément grâce à des toilettes séparatives pour une valorisation agronomique par compostage. Les urines rejoignent le réseau d'assainissement avec les eaux grises et sont traitées conventionnellement en station d'épuration.



⁷ Voir <https://www.gatesfoundation.org/our-work/programs/global-growth-and-opportunity/water-sanitation-and-hygiene/reinvent-the-toilet-challenge-and-expo>

⁸ Pour les autres modes de traitement de l'urine, voir Agrocapi (2023)

Figure 12 : Filière de tri à la source des fèces

Cette filière fèces a récemment été expérimentée en France :

- À Grenoble, l'immeuble *Au Clair du Quartier* (2017 - 5 logements) utilise des toilettes sèches séparatives : les urines rejoignent les eaux grises tandis que les fèces sont collectées dans des seaux, puis compostés dans des espaces extérieurs communs. Depuis 2021, ce compost est utilisé pour les arbres fruitiers du jardin (Joveniaux et al., 2022). Ce choix réduit le volume à gérer, essentiel pour un immeuble sans cave et un petit jardin (200 m²). Le transport manuel en seau a exclu la collecte des urines, jugée trop contraignante (Legrand et al., 2021).



Figure 13 : Logement collectif du quartier Au Claire à Grenoble et toilettes sèches séparatives des 5 appartements concernés

4.1.3. Filière eaux noires

La filière eaux noires séparées consiste à collecter ensemble les urines et fèces en les déconnectant du réseau existant. Le mélange urine-fèces peut faire l'objet d'une valorisation énergétique par méthanisation avec production de biogaz ou par retour au sol du digestat. Les eaux grises sont traitées en station d'épuration.

La collecte peut s'effectuer soit **sans eau grâce à des toilettes sèches unitaires**, soit **avec eau grâce à des toilettes sous vide unitaires**.

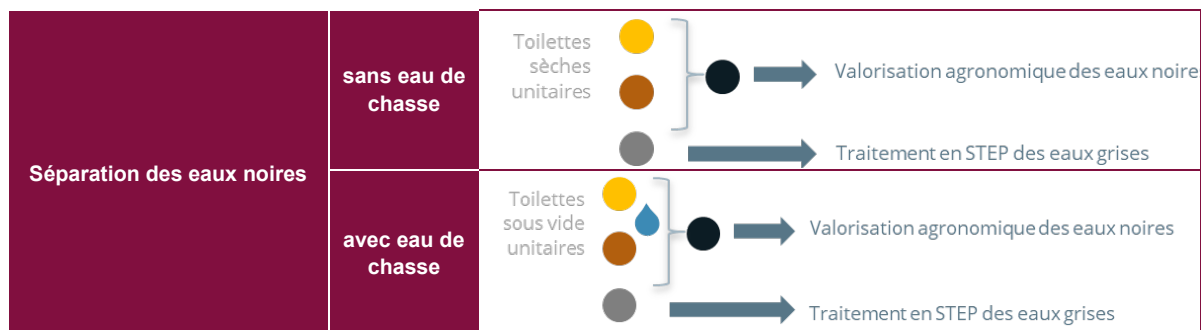


Figure 14 : Filière de tri à la source des eaux noires

4.1.3.1. Filière eaux noires sans eau de chasse

Les **toilettes sèches unitaires** permettent de collecter simultanément les urines et les fèces dans un **composteur**. Elles peuvent être associées à un composteur situé en extérieur de l'habitat ou directement reliées au composteur : les fèces sont compostées tandis que les liquides percolent vers le bas du composteur où ils sont évacués vers un dispositif de traitement (aires de compostage ou filière de gestion des eaux grises). L'ajout de litière (sciure) avant et après chaque miction permet d'absorber les liquides et de limiter les odeurs.

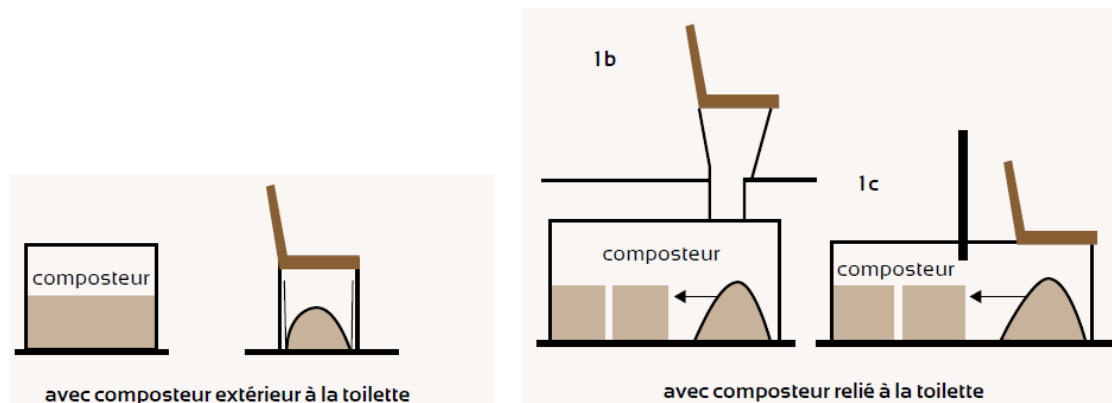


Figure 15 : Exemple de toilettes sèches unitaires (Legrand et al., 2021)

Les toilettes sèches unitaires sont appropriées à l'**habitat individuel** avec espace extérieur suffisant pour le compostage, en particulier en **milieu rural ou péri-urbain**, proche d'exploitations agricoles pour valorisation de l'urine stockée dans les cultures alentours.

La gestion des contaminations fécales est porteuse d'enjeux sanitaires, en particulier dans le cas du compostage de proximité ou de valorisation agricole. Le contrôle de la montée en température est indispensable pour la destruction des organismes pathogènes.

4.1.3.2. Filière eaux noires avec eau de chasse

La filière eaux noires avec eau correspond à un dispositif de **toilettes sous-vide avec réseau sous-vide**, généralement à l'**échelle d'un bâtiment**. Les cuvettes de ces toilettes sont conventionnelles mais raccordées à une canalisation sous vide, permettant une utilisation limitée de l'eau pour les chasses d'eau.

Pour permettre la digestion anaérobie des matières organiques, les effluents humains doivent rester concentrés, de sorte que le volume de chasse d'eau doit être diminué. Cela implique, pour assurer leur collecte, la mise en place d'un réseau sous vide. Ce réseau est relativement économe du point de vue du fonctionnement.

La filière eaux noires avec eau est principalement développée dans les pays du nord, avec plusieurs projets pilote de grande ampleur (Suède, Pays-Bas, Allemagne) surtout depuis les années 2000, par exemple :

- Dans le quartier de Flintenbreite en Allemagne (OtterWasser GmbH, 2009), les eaux noires sont collectées par un réseau sous vide, puis méthanisées en mélange avec des restes alimentaires (Besson, 2017).
- L'éco-quartier Lemmerweg Oost dans la ville de Sneek aux Pays-Bas (32 habitations depuis 2005) utilise la même technologie. Les eaux des toilettes (eaux noires) sont transportées sous vide jusqu'à un digesteur implanté dans le quartier et la chaleur produite est réinjectée dans le réseau de chaleur (Besson, 2017).

De manière générale, le nombre de retours d'expérience est faible. Aucun n'inclut un mode de valorisation agronomique à ce stade, bien que le digestat produit ait une valeur agronomique. Si cette solution était envisagée pour la France, elle nécessiterait des projets pilote d'expérimentation complémentaires.

4.1.4. Filière trois flux

La filière trois flux consiste à séparer les urines, les fèces et les eaux grises grâce à la mise en place de **toilettes séparatives, sèches ou avec chasse d'eau**. Chaque flux subit un traitement ciblé : les urines peuvent être hygiénisées par stockage puis valorisées par retour au sol, les fèces peuvent être valorisées comme matière amendante, les eaux grises restant traitées par station d'épuration.

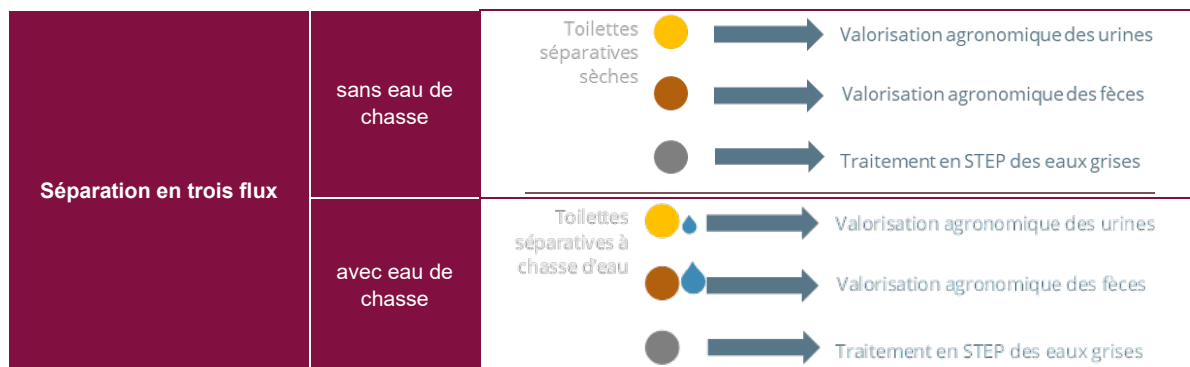


Figure 16 : Filière de tri à la source des trois flux

4.1.4.1. Filière trois flux sans eau de chasse

La filière trois flux sans eau nécessite la mise en place de **toilettes séparatives sèches**. Celles-ci comportent une cuvette à double entrée qui permet de collecter séparément les urines et les fèces. Les urines sont collectées à l'avant des toilettes puis stockées dans un bidon sous les toilettes, tandis que les fèces se retrouvent à l'arrière des toilettes dans un autre réceptacle.



Figure 17 : Cuvette séparative pour toilettes sèches (<https://trobolo.com/>)

Tout comme les toilettes sèches unitaires, ces toilettes séparatives sont particulièrement appropriées pour **l'habitat individuel en milieu rural ou péri-urbain**.

Il est toutefois possible de les envisager en habitat collectif mais elles nécessitent une implication plus grande des habitants qui doivent sortir les réceptacles de leur immeuble (Legrand et al., 2021). Notons que pour que la séparation soit effective, il est nécessaire d'être assis sur la cuvette, ce qui implique des changements d'usages. Dans les expérimentations en Europe, une décentralisation des traitements à lieu, de façon à réduire les coûts de transport.

- En Suède, le projet Gebers (2005 - 30 logements) permet à chaque foyer de composter mensuellement les fèces. En Allemagne, Autriche et Suisse, des projets similaires dans les années 2000 ont testé des traitements décentralisés. Le programme SCST à Berlin (2003-2006) et Solar City à Linz (2004) ont innové sur la séparation et le traitement des flux. Toutefois, certaines installations, comme dans une école, ont été abandonnées à cause de contraintes techniques (Besson, 2017).
- A Bordeaux, l'association La Fumainerie a conduit une expérimentation de 2020 à 2022 de collecte des excréments humains en milieu urbain, où les modalités de collecte, de transport et de valorisation des excréments sont contraintes par le manque d'espaces extérieurs, agricoles et verts proches. Dans ce cadre, l'association a accompagné 34 ménages d'habitations individuelles et 4 structures volontaires pour installer et utiliser des toilettes sèches séparatives.

Les excréments ont été collectés par des entreprises partenaires grâce à des tricycles. Les fèces ont été compostées tandis que les urines devaient initialement être valorisées pour l'agriculture mais n'ont pas pu l'être (Joveniaux et al., 2022 ; Legrand et al., 2021 ; Raguet, Esculier, 2024).



Figure 18 : Tricycle de collecte des excréments (urines et fèces séparées) et toilettes sèches séparatives mises en place dans le cadre de l'expérimentation de l'association La Fumainerie à Bordeaux

4.1.4.2. Filière trois flux avec eau de chasse

La filière trois flux représente un système peu expérimenté. Un cas toutefois est documenté en Suède au sein d'une école (Ecole Elias Fries), qui accueille environ 300 élèves (Coalition Clean Baltic, 2009). Le système de toilettes utilisé se compose de toilettes à chasse d'eau avec séparation des urines et des matières fécales. Les urines séparées sont collectées dans des réservoirs d'une capacité totale de 20 m³. Les matières fécales sont séparées de l'eau de chasse et collectées dans des chambres biologiques.

L'eau de chasse séparée de la fraction fécale, ainsi que les eaux grises, sont dirigées vers une fosse septique, puis infiltrées dans le sol. Les réservoirs d'urine sont vidés deux fois par an par un agriculteur et les urines sont utilisées comme fertilisant. Les matières fécales sont compostées un an après leur vidange, puis utilisées dans la cour de l'école. La quantité de matières fécales vidangée chaque année est très faible. Le système est en fonctionnement depuis 1995 et le responsable de son entretien quotidien se déclare globalement satisfait.

Si cette solution était envisagée en France, elle nécessiterait des projets pilote d'expérimentation complémentaires.

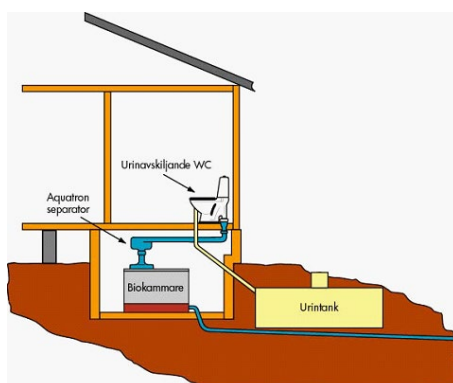


Figure 19 : Système de collecte d'une filière trois flux avec eau dans une école en Suède (Coalition Clean Baltic, 2009)

4.1.5. Synthèse des filières de tri à la source des excréments humains

Le Tableau 30 recense les cibles et niveaux de maturité des filières présentées précédemment.

Filières		Toilettes	Valorisation	Cible de bâtiment	Maturité de la filière
Séparation des urines		Séparatives ou urinoirs	Urines : valorisation agricole Eaux grises : STEP	Tous : individuel, collectif, bâtiments d'activités	Expérimentations à taille moyenne
Séparation des fèces		Séparatives	Fèces : valorisation agricole Eaux grises : STEP	Habitat individuel	Expérimentations disséminées
Séparation des eaux noires	sans eau de chasse	Sèches unitaires	Eaux noires : valorisation agricole Eaux grises : STEP	Habitat individuel	Expérimentations disséminées
	avec eau de chasse	Sous vide		Habitat collectif et bâtiment d'activité	Expérimentations nécessaires
Séparation des trois flux	sans eau de chasse	Sèches séparatives	Urines : valorisation agricole Fèces : valorisation agricole Eaux grises : STEP	Habitat individuel	Expérimentations disséminées
	avec eau de chasse	Séparatives à chasse d'eau		Bâtiment d'activité	Expérimentations nécessaires

Tableau 30 : Cibles et niveau de maturité des filières de tri à la source des excréments humains

4.1. Panorama d'expérimentations de tri à la source d'excrétats humains en France et en Europe

Le Tableau 31 donne un aperçu des expérimentations en termes de projet de tri à la source des excrétats humains en France⁹, tandis que le Tableau 32 recense des projets en Europe (ceux-ci ne sont pas exhaustifs).

Projets en France	Date	Lieux	Types de toilettes	Types de séparation	Types de traitement
Ecole primaire Saint Germé	2012	Gers	Sèches unitaires et urinoirs	Eaux noires, urines	Compostage / Filtre planté
Fondation pour le Progrès de l'Homme	2015	Paris (IdF)	Sèches unitaires	Eaux noires	Compostage
Ecole des Ponts	2016	Champ sur Marne (IdF)	Sèches séparatives et urinoirs secs	Trois flux	
Parce départemental du Sausset	2016	Villepinte (IdF)	Sèches unitaires et urinoirs secs	Trois flux	Compostage / Infiltration / STEP
Au Clair du Quartier	2017	Grenoble (RAA)	Sèches séparatives	Fèces	
Ecoquartier Ecoravie	2017	Dieulefit (RAA)	Sèches séparatives	Fèces	
Les Grands Voisins - Quartier St Vincent Paul	2020	Paris (IdF)	Séparatives à chasse d'eau, urinoirs secs féminins	Urines	Stockage 6 mois
Jacques Chirac Leisure Centre	2020	Rosny sous-bois (IdF)	Sèches unitaires	Eaux noires	
Futuroscope	2021	La Réole (Nouvelle Aquitaine)	Urinoirs secs	Urines	
Expérimentation de sanitaires secs publics	2022	Lyon (RAA)	Sèches séparatives, urinoirs secs	Urines, eaux noires	Compostage
La Cité fertile	2022	Pantin (Ile de France)	Sèches séparatives	Fèces	
Ecole élémentaire Jeanne d'arc	2022	Paris (IdF)	Sèches unitaires, urinoirs secs	Eaux noires, urines	Compostage / Stockage
La Fumainerie	2022	Bordeaux (Nouvelle Aquitaine)	Sèches séparatives	Trois flux	
Habitat participatif L'Oooberge	2022	Dol de Bretagne (Bretagne)	Sèches séparatives	Trois flux	Stockage / Compostage / STEP
Lot C15B (batiment avec restaurant universitaire)	2023	Palaiseau (IdF)	Urinoirs	Urines	
Bâtiment expérimental Village olympique	2024	Saint Denis (IdF)	Séparatives à chasse d'eau	Trois flux	
Cinéma Utopia	2023	Pont Sainte Marie (Grand Est)	Sèches unitaires, urinoirs secs	Urines, eaux noires	Stockage / Compostage

Tableau 31 : Panorama d'expérimentations de tri à la source d'excrétats en France (non exhaustif) - Joveniaux et al. (2022) et cartographie en ligne⁸ « toilettes fertiles »

⁹ Pour une vision plus détaillée de ces expériences, voir <https://storymaps.arcgis.com/stories/495f0ceb57044510b121d2f144e8acbd>

Projets en Europe	Date	Lieux	Types de toilettes	Types de séparation	Types de traitement
Understenhöjden	1995	Suède	Séparatives	Urines	Stockage 6 mois
Palsternackan	1995	Suède	Séparatives	Urines	Stockage 6 mois
Ecole Eklandaskolan	1998	Suède	Séparatives	Urines	Stockage 6 mois / Compostage
Küllon	2000	Suède	Séparatives	Urines	Stockage 6 mois
Universeum Museum	2001	Suède	Séparatives	Urines	Stockage 6 mois
Bibliothèque Basel-Landschaft	2005	Suisse	Séparatives	Urines	Electrodialyse + ozonation
Gebers	1998	Suède	Séparatives sèches	Trois flux	Stockage 6 mois / compostage / STEP
Batiment SCST	2005	Allemagne (Berlin)	Séparatives	Trois flux	Plusieurs tests / Compostage ou STEP / STEP
Saniresch	2005	Allemagne	Séparatives	Trois flux	Stockage 6 mois + stuvite / Compostage
Habitations, musée, bibliothèque, 3 campings, école	2000	Suède (Tanum)	Séparatives (sèches ou non)	Trois flux	Stockage 6 mois / compostage ou STEP / STEP
Solar City	2004	Autriche	Séparatives	Trois flux	- / Compostage / Lit planté de roseaux
Coopérative Equilibre, Verges	2018	Suisse (Meyrin)	Séparatives	Trois flux	Lombri-compostage / filtre à charbon / STEP
Coopératives Equilibre et Luciole, Soubeyran	2017	Suisse (Canton Genève)	Séparative à eau	Trois flux	Lombrifiltre / Dégraisseur, filtre à charbon, lombrifiltre
Flintenbreite	2000	Allemagne (Lubeck)	Unitaires sous-vide	Eaux noires	Digestion + cogénération
Lemmerweg	2006	Pays-Bas (Sneek)	Unitaires sous-vide	Eaux noires	UASB + anammox
Noorderoek	2010	Pays-Bas (Sneek)	Unitaires sous-vide	Eaux noires	UASB + anammox + struvite
Jenfelder Au	2017	Allemagne (Hamburg)	Unitaires sous-vide	Eaux noires	Digestion + cogénération + stuvite
Schipperskai	2018	Belgique (Ghent)	Unitaires sous-vide	Eaux noires	Digestion + cogénération
H+	2035	Suède (Helsingborg)	Unitaires sous-vide	Eaux noires	Digestion + cogénération

Tableau 32 : Panorama d'expérimentations de tri à la source d'excréments en Europe (non exhaustif) - Besson, 2017 et cartographie en ligne⁸ « toilettes fertiles »

4.2. Priorisation des cibles et flux

Cette partie vise à mettre en évidence les caractéristiques à prendre en compte pour choisir les solutions techniques et organisationnelles les plus appropriées, selon les typologies de bâtiment, d'intervention (construction ou rénovation) ou de territoire.

4.2.1. Cibles par type de bâtiment de production

Le gisement d'urine en France par type de bâtiment est produit pour :

- 83 % dans les résidences principales, dont 46 % en habitat individuel et 37 % en habitat collectif
- 17% dans les lieux non résidentiels dont 10% sur les lieux de travail et 5% dans les lieux d'enseignement.

La Figure 20 présente la répartition des gisements d'urine par type de bâtiment de production.

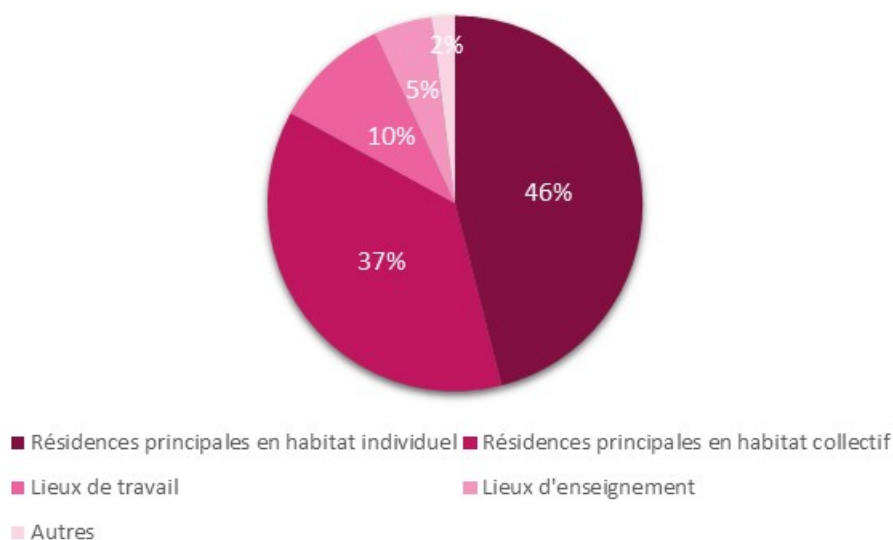


Figure 20 : Répartition du gisement d'urine en France par type de bâtiment de production

Si l'on ne considère que l'aspect quantitatif, les lieux résidentiels sont donc une priorité en termes de gisement d'urine, en particulier l'habitat individuel.

Pour les lieux non résidentiels, les lieux de travail sont également importants à cibler, de même que les lieux d'enseignement, d'autant qu'ils constituent des lieux de transmission propices des nouvelles pratiques de tri à la source des excréments pour les jeunes générations. En revanche, il semble en première intention souhaitable d'éviter de mettre en œuvre des filières de tri dans les établissements de santé et les EHPAD du fait des contaminations médicamenteuses fortes des excréments et des difficultés de changements de pratiques pour les résidents.

Les collectifs d'acteurs volontaires organisés au sein de projets d'habitats participatifs ou encore les micro-filières citoyennes peuvent également être priorisées. Si ces acteurs ont besoin d'accompagnement technique ou de formation, ils sont souvent déjà sensibilisés.

Les événements tels que festivals avec une forte production d'excréments humains temporaire peuvent également être ciblés, notamment pour faire connaître la pratique. C'est d'ailleurs dans ce contexte que les premières filières françaises ont émergé, au début des années 2000. Les acteurs français du retour

au sol des excréments humains sont d'ailleurs déjà fédérés au sein du Réseau de l'Assainissement Ecologique¹⁰, vivier de compétences en la matière.

4.2.2. Cibles par type d'intervention

La mise en œuvre de dispositifs de séparation à la source des excréments humains peut exiger des travaux importants, notamment pour l'habitat collectif ou les bâtiments tertiaires. La construction et les rénovations globales des bâtiments représentent à ce titre les contextes les plus favorables à l'installation de dispositifs de collecte. **Le rythme de déploiement des dispositifs pourrait ainsi suivre celui de la rénovation énergétique des bâtiments et de la construction neuve.** Les constructions neuves pour lesquelles la mise en place de la séparation à la source serait la plus facile techniquement et la moins génératrice de surcoût pourraient être privilégiées dans un premier temps.

Pour évaluer les possibilités de captage du gisement d'urine au niveau national, les 4 scénarios de la prospective ADEME Transition 2050 qui visent à conduire la France vers une neutralité carbone (ADEME, 2021) ont été pris en compte, en considérant, pour chaque scénario que chaque construction et rénovation envisagée serait l'occasion de la mise en œuvre d'une solution de tri à la source de l'urine.

Pour chacun de ces scénarios, le prévisionnel des rythmes de construction et de rénovation énergétique les plus ambitieux des bâtiments résidentiels et d'activité permet d'estimer les volumes d'urines supplémentaires potentiellement captables à l'horizon 2050. Ces chiffres, distinguant en particulier les constructions neuves sont rapportés au volume total d'urine produits par les Français (cf. Tableau 33).

Scénarios		Part du gisement d'urine total captable en 2050	
		Constructions neuves seules	Constructions neuves + rénovations
Tendanciel			
Référence sans évolution notable des pratiques de construction		23 %	38 %
1 - Génération frugale			
Limitation de la construction, rénovation rapide et modification d'ampleur des modes de vie		10 %	56 %
2 - Coopérations territoriales			
Rénovation massive, évolution graduelle mais profonde des modes de vie		13 %	58 %
3 - Technologies vertes			
Rénovation massive et déconstruction-reconstruction		27 %	65 %
4 - Pari réparateur			
Efficacité énergétique et innovation technique		23 %	40 %
Hypothèses	Volume d'urine produit par un ménage à domicile : 0,88 m ³ /an Volume d'urine produit par un ménage produit hors domicile : 0,15 m ³ /an Nombre de m ² de tertiaire par habitant : variable, sur la base des scénarios ADEME Le rythme de déploiement de la séparation à la source est calqué sur celui des rénovations énergétiques les plus ambitieuses des scénarios de la prospective ADEME Transitions 2050. Les volumes d'urine collectables à l'horizon 2050 dans chacun des scénarios ont été rapportés au volume total d'urine produit par les Français, à population constante.		
Sources	Ademe Transitions 2050 (ADEME, 2021) Hypothèses sur la production d'urine (Martin <i>et al.</i> , 2023)		

Tableau 33 : Rythme prévisionnel, par scénario de la prospective ADEME, des volumes d'urines captés par an entre 2025 et 2050 à partir du nombre bâtiments construits ou rénovés (d'après prospective ADEME, 2021)

¹⁰ Voir <https://reseau-assainissement-ecologique.org/>

La Figure 21 présente, pour chaque scénario, l'évolution des taux de captage en 2030, 2040 et 2050. Les scénarios permettent un captage de 38 % (scénario tendanciel) à 65 % des gisements totaux à l'horizon 2050. Les scénarios 2 (coopérations territoriales) et 3 (technologies vertes) permettent de capter des volumes plus importants, compte tenu des plus forts niveaux de construction de résidences principales et tertiaires. Pour tous les scénarios, les volumes captés dans les résidences principales représentent l'essentiel des gisements. Ces chiffres reflètent une situation dans laquelle 100 % des logements neufs et rénovés et du parc tertiaire construits seraient aménagés ; si seulement 10 % des bâtiments étaient concernés, la part des volumes captables serait de 6 % à l'horizon 2050. Il y a donc un enjeu à convertir massivement.

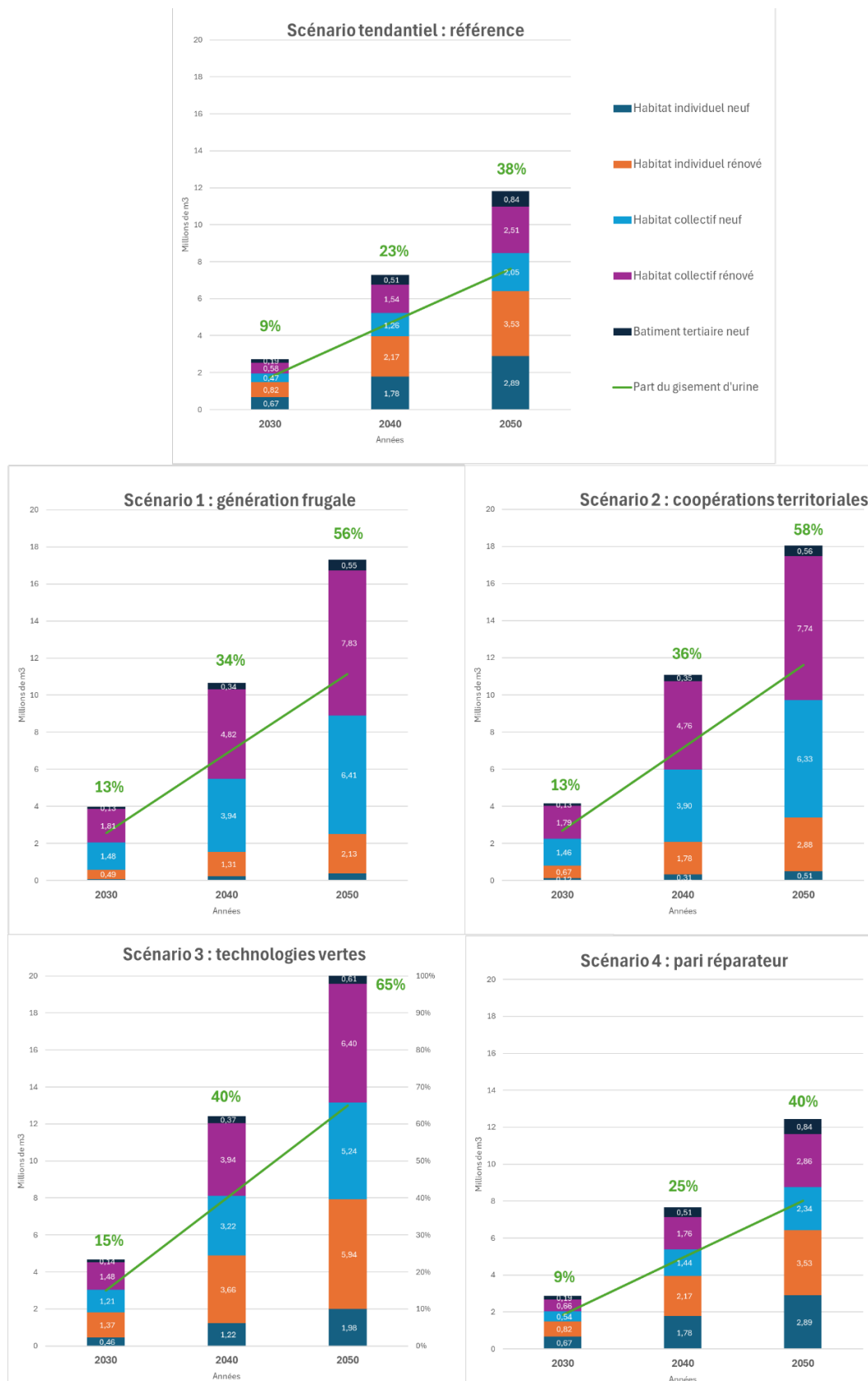


Figure 21 : Prospective des gisements d'urine captables entre 2030 et 2050 en fonction du scénario de transition écologique adopté

4.2.3. Les cibles et flux en fonction des types de territoires

Quelle que soit la solution technique et organisationnelle envisagée, **la collecte de l'urine et des fèces s'effectue à une échelle locale** : sur le lieu même de production des excréments ou à un point de collecte proche. Aussi, il est nécessaire de mettre en place un transport depuis le lieu de collecte (distinct ou non du lieu de production) vers le lieu de valorisation. Pour limiter le coût de transport des excréments de leur lieu de collecte à celui de leur valorisation agricole (et donc limiter l'impact CO₂), il convient d'optimiser les modalités de transport (type de véhicules, volume des cuves de transport, fréquence de collecte) et de traitement en fonction de :

- La distance des lieux de collecte des excréments humains aux zones agricoles à fertiliser
- La densité de gisement d'excréments humains en rapport avec les besoins locaux de fertilisation
- Les types de lieux de production : habitat individuel, habitat collectif, bâtiment d'activité
- Les infrastructures de transport : type de voirie, accessibilité des lieux de production et de valorisation des excréments humains

Trois types de territoires sont considérés : milieu urbain, péri-urbain et rural. La Figure 22 présente les principales caractéristiques de ces territoires au regard de la gestion des effluents humains.



Milieu urbain

- Éloignement des lieux de valorisation agricole
- Densité forte de gisement d'excréments humains
- Bâtiments d'habitat collectif et d'activité principalement
- Voirie dense et accessibilité limitée (du fait d'une intense utilisation)



Milieu périurbain

- Proximité des lieux de valorisation agricole
- Densité forte de gisement d'excréments humains
- Diversité des types de bâtiments : habitat individuel, habitat collectif et d'activité
- Voirie dense et accessible



Milieu rural

- Proximité des lieux de valorisation agricole
- Densité diffuse de gisement et difficilement captable des excréments humains
- Habitat individuel principalement
- Voirie peu dense et accessible

Figure 22 : Caractéristiques territoriales à prendre en compte pour la collecte des excréments humains

Le Tableau 34 présente une synthèse des types de bâtiments et de territoires cibles par mode de séparation. Les justifications sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Flux	Solutions techniques et organisationnelles		Cibles en France	
Mode de séparation	Type de toilettes	Type de collecte	Type de bâtiment	Type de territoire
Urines	Toilettes séparatives à micro chasse d'eau	Cuve individuelle, collecte annuelle par camion	Habitat individuel	
		Réseau gravitaire urine, cuve collective à l'échelle de l'habitat, collecte annuelle par camion	Habitat individuel dense	
		Réseau gravitaire urine, cuve collective à l'échelle du bâtiment, collecte annuelle par camion	Habitat collectif et bâtiment d'activité	
	Urinoirs	Réseau gravitaire urine, cuve collective à l'échelle du bâtiment, collecte annuelle par camion	Bâtiment d'activité	
Fèces	Toilettes séparatives	Composteur, vidange annuelle	Habitat individuel	
Eaux noires	Toilettes unitaires sèches	Composteur, vidange annuelle	Habitat individuel	
	Toilettes unitaires sous-vide	Réseau sous-vide eaux noires, traitement décentralisé à l'échelle du quartier ou bâtiment	Habitat collectif et bâtiment d'activité	Expérimentations nécessaires
Trois flux	Toilettes séparatives sèches	Cuve individuelle	Habitat individuel	
	Toilettes séparatives à micro chasse d'eau	Réseaux (urine / fèces) + cuves collectives à l'échelle du bâtiment	Bâtiment d'activité	Expérimentations nécessaires

Tableau 34 : Synthèse des cibles et flux prioritaires par type de territoire

4.2.3.1. En milieu urbain

En milieu urbain, la densité de population implique une forte concentration du gisement d'excréments humains, rendant la collecte pertinente. Les bâtiments sont le plus souvent des immeubles et des bâtiments d'activité, ce qui amène à favoriser des **modes de collecte à l'échelle d'un bâtiment ou d'un quartier**. L'accessibilité aux lieux de collecte par camion étant relativement difficile et les lieux de valorisation agricole étant relativement éloignés, il est préférable de dimensionner les cuves de stockage de façon à **limiter la fréquence de collecte par camion**.

La rareté d'habitations individuelles avec espaces extérieurs ne favorise pas les solutions de collecte individuelles, en particulier les toilettes sèches (unitaires ou séparatives). Le manque d'expérimentations de séparation des eaux noires, ainsi que les difficultés supplémentaires liées aux contaminations biologiques des fèces font que cette solution n'apparaît pas prioritaire.

La séparation trois flux avec eau, au vu des infrastructures nécessaires apparaît difficilement envisageable dans un horizon proche, notamment en milieu urbain.

In fine, il semble préférable pour le **milieu urbain** de déployer la **filière urine uniquement**, avec, par ordre de priorité :

- Pour l'**habitat collectif** : des toilettes séparatives à micro-chasse d'eau avec réseau gravitaire à l'échelle du bâtiment et cuve collective en rez-de-chaussée ou sous-sol ;

- Pour les **bâtiments d'activités** : toilettes séparatives à micro-chasse d'eau et des urinoirs en compléments avec réseau gravitaire et cuve collective en sous-sol du bâtiment ;
- Pour l'**habitat individuel** : des toilettes séparatives à micro-chasse d'eau avec réseau gravitaire à l'échelle du quartier et cuve collective.

Des dispositifs de concentration in situ de l'urine avant collecte, bien que non étudiés en tant que tel dans cette étude, pourraient être envisagés en milieux urbains pour limiter l'impact du transport.

4.2.3.2. En milieu rural

En milieu rural, la faible densité de population implique une densité de gisement faible. L'intérêt moindre de la collecte des excréments est compensé par la proximité des lieux de valorisation agricole qui implique une facilité de collecte et un coût réduit de transport, et la disponibilité d'espaces extérieurs liés à la présence exclusive d'habitat individuel qui implique une plus grande facilité de mise en œuvre de solutions de collecte avec des toilettes sèches (unitaires ou non).

En milieu rural, peuvent donc être envisagées la collecte de **l'urine mais aussi celle des fèces**. Dans la mesure du possible, il convient, pour l'habitat individuel, de privilégier le déploiement par ordre d'importance de :

- La **filière trois flux** avec des toilettes séparatives sèches, avec collecte des urines pour une valorisation agronomique et une valorisation des fèces au jardin ou en agriculture ;
- La **filières eaux noires sans eau** avec des toilettes unitaires sèches et valorisation en agriculture ;
- La **filière urine avec des toilettes séparatives à micro-chasse d'eau** et cuve individuelle, et valorisation agricole des urines.

4.2.3.3. En milieu péri-urbain

La situation en milieu péri-urbain est intermédiaire, de sorte que dans l'absolu, toutes les solutions techniques et organisationnelles sont envisageables. Celles-ci doivent être examinées au cas par cas, au regard des caractéristiques territoriales et de leurs avantages et inconvénients pour la collecte des excréments.

4.2.4. Cibles par région et territoire

Une comparaison des apports d'azote et de la production d'urine à l'échelle régionale fait apparaître des différences significatives entre les territoires (cf. Figure 23). Le taux de substitution calculé correspond à la part maximale des apports d'azote chimique en agriculture qui pourraient être substitués par des apports d'urine¹¹.

¹¹ Données calculées en comparant pour chaque région, la quantité d'azote chimique achetée par les agriculteurs (UNIFA, 2024) et l'azote contenu dans l'urine des Français, selon la méthodologie présentée dans le Tableau 3

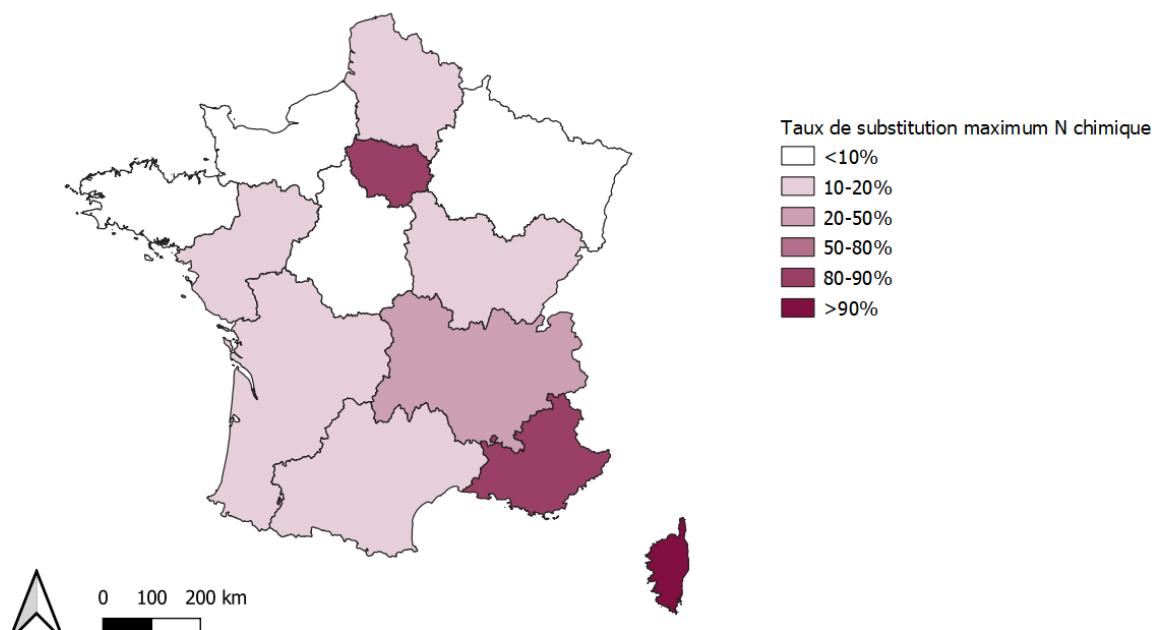


Figure 23 : Taux de substitution maximum de l'azote par des apports d'urine, par région à apports d'intrants constants (poursuite du modèle agricole conventionnel)

Certaines régions présentent une utilisation d'engrais de synthèse très supérieure au gisement d'urine, comme le Centre-Val de Loire, la Normandie ou le Grand Est. Dans d'autres comme l'Ile-de-France ou la Région Sud, qui présentent une population plus importante ou une agriculture moins consommatrice d'azote, une part plus importante des apports d'azote pourrait être couverte par les urines produites localement.

4.2.4.1. Régions aux apports en azote importants ou vulnérables à la pollution

Dans les régions où les consommations d'azote apparaissent importantes, qui correspondent aux régions avec une céréaliculture importante et des grosses exploitations agricoles, il semble intéressant de privilégier des solutions de massification des flux d'urine collectés. Par exemple, un céréalier cultivant 300 ha de céréales aurait besoin d'apports de près de 10 000 foyers pour substituer 100 % de ses apports d'azote minéral par de l'urine humaine.

Néanmoins, il apparaît que dans les régions où une agriculture très consommatrice d'azote est développée, la poursuite des apports azotés dans de telles proportions n'est pas compatible avec le maintien d'un bon état des eaux.

Par ailleurs, dans certains territoires très peuplés, comme la plaine de Versailles, le faible débit des cours d'eau ne permet pas d'assurer une qualité des eaux grâce au système d'assainissement conventionnel. Une priorisation du tri à la source des urines sur ces territoires pourrait être effectuée, de manière à limiter la pollution des cours d'eau.

Le territoire national présente également des disparités territoriales en termes de qualité de traitement de l'azote dans le système d'assainissement conventionnel. Les bassins versants Rhône-Méditerranée, Adour-Garonne ou la région Sud (PACA) présentent ainsi des taux d'abattement plus faibles de l'azote en sortie de STEP. Dans l'optique d'une amélioration de l'état des cours d'eaux, ces territoires, ou des bassins versants moins étendus pourraient être également prioritaires.

4.2.4.2. Régions où des besoins agricoles spécifiques sont identifiés

Dans d'autres régions comme l'Occitanie, la Région Sud (PACA) ou AURA, où l'irrigation en goutte-à-goutte est développée (cultures maraîchères) ou susceptible de se développer plus rapidement à l'avenir en raison du changement climatique qui accentue les phénomènes de sécheresse, il paraît pertinent de prioriser une valorisation locale avec le développement de solutions logistiques en circuit-court. De manière plus générale, une relation entre la production locale d'urino-fertilisant et une relocalisation de la production alimentaire (maraichage), par exemple dans le cadre des projets alimentaires territoriaux, serait pertinente.

Les territoires qui connaissent une baisse tendancielle de l'élevage tout en présentant une croissance de l'agriculture biologique pourraient être également ciblés, notamment en Auvergne-Rhône-Alpes, les fumiers et lisiers représentant souvent une source majeure de fertilité pour les exploitations en agriculture biologique.

4.3. Enjeux et leviers liés à la généralisation de la collecte et valorisation des excréments humains

La collecte et la valorisation des excréments humains est porteuse de nombreux enjeux, à la fois techniques, organisationnels, sanitaires, réglementaires, mais aussi culturels et sociaux. Sur chacun de ces axes, des leviers d'actions peuvent être identifiés.

4.3.1. Enjeux techniques et organisationnels pour une restructuration de la filière d'assainissement

L'intégration de la séparation à la source des excréments humains dans les systèmes d'assainissement actuels pose des enjeux techniques et organisationnels significatifs (Arceau, 2021).

4.3.1.1. Solutions de collecte et de traitement

La filière urine est encore peu développée. Même si des initiatives spontanées et disparates mobilisant des solutions de traitement *low tech* (simple stockage, pitribon) existent, le déploiement de la séparation de l'urine exige la création d'un écosystème d'acteurs, au même titre que ce qui a pu émerger avec le déploiement du tri à la source des biodéchets. Un certain nombre d'acteurs émergent à l'échelle française tels que Toopi Organics¹² ou européenne (Vuna en Suisse, produisant des engrais certifiés bio pour particuliers à base d'urine) ou Sanitation 360 en Suède. En France, le Réseau de l'Assainissement Ecologique regroupe notamment les acteurs associatifs et entreprises développant des solutions techniques.

Parmi les enjeux encore peu pris en compte, figurent l'entretien des réseaux de collecte d'urine sur le long terme, la précipitation de l'urée sous forme de stuvites pouvant boucher les canalisations. La gestion des odeurs représente également un enjeu fort en termes d'acceptabilité (Brun, 2019).

4.3.1.2. Enjeux logistiques et organisationnels pour le transport des urines

La question de la distance de valorisation des effluents est également un enjeu important. Les travaux de Starck (2024) ont montré qu'il serait possible de valoriser une grande majorité des gisements (60 - 70 %) à moins de 10 km de leurs lieux de production.

Néanmoins, la logistique autour de la collecte et du transport des urines constitue un enjeu clé. En fonction de la distance entre les points de collecte et de valorisation, des solutions de traitement différentes (avec ou sans concentration) devront être trouvées. La logistique en tant que telle pourrait être assumée par des acteurs variés, tels que les syndicats d'assainissement, des organisations

¹² Première entreprise française mobilisant l'urine pour produire un biostimulant.

agricoles ou des entreprises privées. Des plateformes de massification pourraient se révéler nécessaires.

4.3.2. Enjeux d'acceptabilité sociale autour de la collecte sélective et de la valorisation agricole des urines humaines

La question de l'acceptabilité sociale associée à la séparation à la source des urines humaines n'est pas traitée en détail dans ce rapport, il est néanmoins possible d'évoquer certains éléments clé.

La mise en place de toilettes sèches ou séparatives pour la collecte sélective des urines nécessite des changements d'habitude plus ou moins importants en fonction des techniques choisies (cf. L'interface usager : des changements d'habitude plus ou moins importants à prévoir). Il faut donc tenir compte du fait que les pratiques liées aux toilettes sont fortement influencées par des représentations culturelles associées aux questions de confort, d'hygiène, de statut social. Par ailleurs, la gestion et l'exploitation de dispositifs de collecte, traitement, transport des urines humaines suppose l'acquisition de compétences et savoirs faire nouveaux, avec à la clé un enjeu de formation des acteurs concernés (cf. Rôle des acteurs du bâtiment dans l'intégration des systèmes de séparation d'urine). Enfin, du point de vue de la valorisation, l'utilisation de fertilisants issus des urines humaines suppose des changements de pratiques et suscite des interrogations du côté de la profession agricole, qu'il convient également de documenter et d'accompagner (cf. Acceptabilité agricole et perception des engrais issus de l'urine).

4.3.2.1. L'interface usager : des changements d'habitude plus ou moins importants à prévoir

L'utilisation de toilettes sèches, séparatives, d'urinoirs sans eau suppose des changements d'habitude plus ou moins importants en fonction des techniques considérées.

- Certains modèles de **toilettes séparatives** supposent de s'asseoir pour que la collecte sélective de l'urine fonctionne. Le fait de s'asseoir pour uriner peut-être perçu comme inconfortable par une partie des hommes ou soulever des questions sur la masculinité.
- Concernant les **urinoirs secs masculins**, ils sont déjà largement répandus et ne supposent pas de changement d'habitude pour l'utilisateur.
- Les **urinoirs secs féminins** constituent un nouveau type d'interface usager, qui est bien adapté pour les contextes où, de toute façon, les femmes ne s'asseyent souvent pas pour uriner pour des raisons d'hygiène (toilettes publiques, lieux recevant du public, festival, etc.). Ils se développent actuellement dans ce type de contexte en France sans susciter de forts problèmes.
- Les **toilettes sèches** sont devenues courantes dans certains types de contextes (festival, aires routières, espaces naturels). Elles semblent bien acceptées dans ces contextes, où elles sont d'ailleurs susceptibles d'offrir un service plus approprié en termes de confort et d'hygiène que des toilettes conventionnelles à eau, à condition d'un entretien et d'un nettoyage correct¹³. Leur appropriation par les usagers demandera plus d'accompagnement dans les contextes où elles sont encore peu courantes (dans le contexte scolaire par exemple).

Concernant l'**habitat**, il est à noter qu'une partie de la population opte volontairement pour des toilettes sèches, en contexte rural (Soyer, 2022) et en habitat participatif (Joveniaux *et al.*, 2021). La collecte sélective de l'urine se développe également chez les particuliers y compris dans certains cas en milieu urbain (Weingart, 2022) Si ce phénomène n'est pas quantifié, il est évident que la pratique se développe et se démocratise. Il existe donc une population pionnière qui souhaite adopter des dispositifs de

¹³ Voir l'étude sur les toilettes sèches en contexte d'urbanisme transitoire (Soyer *et al.*, 2024) et l'étude sur les toilettes sèches dans les parcs urbains (Yannou, 2024).

séparation à la source à l'échelle de l'habitat. En dehors de cette catégorie, l'acceptation des logements équipés de tels dispositifs reste encore incertaine pour les personnes qui ne les auront pas choisies.

Des études menées en Suisse (Lienert, Larsen, 2006) et en Allemagne (projets Sneek et SCST à Berlin) montrent que les individus sont généralement plus enclins à modifier leurs habitudes dans les **lieux de travail** que dans leur logement. Cela confirme que les environnements tertiaires pourraient être des cibles prioritaires pour l'installation de ces équipements, permettant ainsi une familiarisation progressive des usagers avant une adoption dans les habitations.

De façon générale, une attention particulière doit être portée à la **conception des toilettes** pour réduire les désagréments et maximiser le confort, élément clé de l'acceptabilité. Ces éléments de conception peuvent être la ventilation, l'éclairage, le siphon sec pour la collecte de l'urine, l'apparence générale de la toilette et matériaux utilisés - céramique, inox, bois, matériaux composites, etc.

4.3.2.2. Rôle des acteurs du bâtiment dans l'intégration des systèmes de séparation d'urine

L'intégration de toilettes à séparation d'urine dans les bâtiments exige de mobiliser et de former les acteurs de la conception, de l'installation, de l'exploitation et de la maintenance.

Sur le plan technique, cette transition exige l'installation d'un réseau secondaire dédié aux urines et d'une cuve de stockage, qui doivent répondre à des préconisations spécifiques (pentes, matériaux utilisés, regards de visite) (Brun, 2019) et demandent une attention particulière en termes d'exploitation, d'entretien et de maintenance. Le besoin de formation est valable également et de façon plus générale pour les toilettes sèches.

Du côté des **acteurs de l'aménagement et de l'immobilier** (promoteurs, bailleurs), l'attrait est encore faible pour les dispositifs de collecte sélective de l'urine, pour différentes raisons : manque de connaissance des enjeux et techniques disponibles, complexité des chaînes de décision, coûts projetés d'investissement et d'exploitation, absence d'aides publiques mobilisables à ce stade, manque d'attractivité supposé des logements ainsi équipés (dans un contexte de financiarisation du secteur immobilier qui ne facilite pas la prise de risque). Certains acteurs du secteur s'impliquent néanmoins dans des projets pilotes, y compris dans le logement social.

Dans ce contexte, concernant plus spécifiquement les logements, l'enjeu d'accompagnement des habitants est élevé et suppose impérativement un dispositif de soutien adéquat. Il convient également d'opter pour les techniques les moins contraignantes possibles pour l'habitant, de désigner des acteurs responsables du maintien des installations qui bénéficient d'une formation suffisante.

4.3.2.3. Acceptabilité agricole et perception des engrais issus de l'urine

Dans le secteur agricole, l'intérêt pour les urino-fertilisants est variable en fonction des acteurs. Les enjeux techniques et économiques dépendent des filières (grandes cultures, maraîchage, arboriculture, horticulture, etc.), des itinéraires techniques, ainsi que des temporalités de filières (filières longues vs circuits courts). Il n'est ainsi pas possible de faire de généralités sur l'acceptabilité des urino-fertilisants. On peut en première intention noter plusieurs points clé à traiter :

- **Les interrogations quant à la présence d'éléments indésirables dans les urino-fertilisants.**

Ces interrogations, d'autant plus marquées qu'il s'agit d'un nouveau type de matière fertilisante non issu du milieu agricole, concernent en particulier les micropolluants et pathogènes. Cela suppose de poursuivre les recherches sur le sujet mais aussi de mettre en regard les urino-fertilisants avec d'autres types de fertilisants du point de vue des indésirables qu'ils contiennent (lisiers et fumiers, composts de biodéchets, boues de STEP...). Il s'agit en particulier de ce point de vue d'éviter l'assimilation des urino-fertilisants aux boues de STEP. Les principaux contaminants présents dans les boues, tels que les ETM ou les PFAS ne proviennent pas des excréments humains mais du mélange d'une diversité d'effluents

urbains. Une note de synthèse sur les indésirables présents dans les urino-fertilisants fait le point sur cette question (Brun, 2025).

- **La variabilité de l'intérêt technique et économique d'avoir recours aux urino-fertilisants en fonction des filières**

Dans le contexte économique actuel (prix des engrais fossiles encore modéré), l'adoption des urino-fertilisants par le secteur agricole suppose le développement d'un mécanisme de soutiens financiers spécifiques. Notons que l'agriculture biologique présente un intérêt particulièrement fort pour ces urino-fertilisants dans la mesure où le label ne permet pas d'utiliser d'azote de synthèse et où la filière biologique ne dispose pas de sources suffisantes d'azote naturel. Aussi, le développement d'un tel mécanisme de soutien financier favoriserait la viabilité et l'essor de l'agriculture biologique.

- **La question du cadre réglementaire des urino-fertilisants**

Une enquête réalisée en Ile-de-France révèle que l'emploi des urino-fertilisants par les agriculteurs serait facilité par l'établissement d'une confiance dans la composition des urino-fertilisants qui nécessiterait l'implication des acteurs agricoles dans l'ensemble de la filière de séparation à la source, permettant aux agriculteurs de garder un contrôle sur la qualité des produits épandus (Brun, 2018).

4.3.2.4. Le rôle de l'information et de l'éducation

Pour surmonter les résistances aux changements de pratique, **une communication claire sur les bénéfices environnementaux et sanitaires de la collecte sélective est essentielle**. Informer les usagers sur la finalité de ces toilettes, leur fonctionnement et leur contribution à une gestion durable des ressources peut aider à modifier les perceptions. Les expériences de recherche-action, comme celles menées dans le cadre du projet OCAP1 montrent que ces dynamiques de changement nécessitent un accompagnement sur le long terme, impliquant à la fois des campagnes de sensibilisation, un accompagnement des acteurs à toutes les étapes des projets et une adaptation progressive des infrastructures, associée à la formation des différents corps de métier concernés. Cette sensibilisation devra s'adresser à l'ensemble des acteurs impliqués : ménages, professionnels du bâtiment, agriculteurs, collectivités.

4.3.3. Enjeux économiques

4.3.3.1. Perception des coûts par les particuliers

L'acceptabilité sociale des toilettes séparatives ou sèches est également influencée par leur coût. Une étude réalisée en Suisse a montré que bien que 72 % des personnes interrogées soient convaincues par l'idée de toilettes séparatives, seulement 28 % accepteraient de payer deux fois plus cher que pour des toilettes conventionnelles (Lienert et Larsen, 2006). Cette sensibilité au coût nécessite des stratégies d'accompagnement, telles que des incitations financières ou des subventions :

- Par exemple, des systèmes de rétribution, comme des chèques annuels pour les ménages participant à la collecte sélective pourraient renforcer l'engagement des utilisateurs tout en légitimant les efforts supplémentaires qu'ils doivent fournir.
- Une exonération partielle ou totale de redevance d'assainissement en cas de tri à la source des excréments pourrait également être mise en place, comme c'est le cas dans le canton de Genève en Suisse.
- En s'inspirant des pratiques incitatives pour favoriser le tri des ordures ménagères (redevance incitative au poids ou à la levée), un autre levier consisterait à mettre en place une indexation progressive de la facturation de l'eau, de façon à inciter les ménages à réduire leur consommation. Ce levier nécessiterait toutefois en amont de lever le verrou économique

identifié en Coût évité sur le service de l'eau et de l'assainissement pour les ménages : les prix facturés actuellement aux ménages du service eau-assainissement présentent 12 % de part fixe et 88 % pour la part variable tandis que les coûts de gestion sont principalement des coûts fixes imputés aux infrastructures - de l'ordre de 70 %. Si les ménages réduisaient massivement leur consommation en eau, les règles actuelles de facturation du service ne pourraient être maintenues. De façon à assurer la pérennité financière du service, il y a de grandes chances que la part variable facturée aux ménages serait réduite pour se rapprocher de la réalité des coûts du service. Ceci engendrerait une baisse de l'intérêt économique annoncé par la mesure, qui risquerait de décevoir les ménages qui auront réalisé des efforts de baisse de leur consommation d'eau.

- Dans le cadre de l'habitat collectif, une réflexion sur la propriété des dispositifs de collecte (toilette) pourrait également être envisagée. Ces équipements pourraient être considérés comme faisant partie du système d'assainissement du bâtiment, ne dépendant plus, dès lors, des ménages mais des parties communes (donc des copropriétés ou des bailleurs).

4.3.3.2. Traitement des urines : équilibre entre efficacité et viabilité économique

Le traitement des urines peut varier selon les objectifs visés, allant d'un simple stockage à des procédés plus sophistiqués de traitement des résidus pharmaceutiques. La prise en charge des contaminations représente une question politique : aujourd'hui, le système d'assainissement génère des pollutions multiples qui ne sont que très partiellement prises en charge. La recherche d'un équilibre entre coût et efficacité du traitement reste un défi majeur pour rendre ces solutions économiquement réalisables.

4.3.3.3. Répartition des coûts et pistes de financement

De manière générale, la mise en place de systèmes de collecte et de valorisation de l'urine humaine soulève des enjeux en termes de répartition des coûts et des bénéfices entre les différents acteurs : particuliers, collectivités locales et agriculteurs. **Ces dispositifs nécessitent une réflexion politique pour garantir un partage équitable des responsabilités et des retombées économiques.**

Un des défis majeurs réside dans la transition d'une logique centrée sur le traitement des déchets à une approche orientée sur les ressources, valorisant les services rendus par ces dispositifs : économies d'eau, réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à la substitution d'engrais chimiques, économies d'énergie associées à un traitement des effluents plus efficace.

Pour reconnaître et rémunérer ces avantages, des mécanismes tels que le **paiement pour services environnementaux (PSE)** ou les **Certificats d'Economie d'Energie (CEE)** pourraient être mis en œuvre. Ce mécanisme incitatif, déjà utilisé pour promouvoir des solutions énergétiques durables, permettrait d'apporter un soutien financier aux collectivités et aux particuliers engagés dans la séparation à la source. Cette perspective est discutée plus extensivement en Mise en place de Certificats d'Economie d'Energie. D'autres pistes de financement sont discutées en Développement d'autres solutions de financement.

4.3.4. Enjeux réglementaires : une évolution nécessaire du statut de l'urine

La collecte sélective de l'urine humaine correspond aujourd'hui à un vide juridique (Arceau, 2023).

Actuellement, elle ne s'inscrit ni dans le cadre de l'assainissement collectif ni dans celui de l'assainissement non collectif. Cette absence de cadre clair complique la répartition des responsabilités entre les collectivités, les producteurs et les utilisateurs finaux (agriculteurs). Se pose notamment la question de la propriété et la gestion des infrastructures nécessaires à la collecte, au stockage et au transport de l'urine. La responsabilité des installations de traitement ainsi que du suivi de la traçabilité restent à attribuer.

De manière générale, si l'urine est directement acheminée vers un site de traitement centralisé, le dispositif pourrait s'intégrer dans l'assainissement collectif. En revanche, un stockage et traitement sur site par un acteur privé pourrait rapprocher le système de l'assainissement non collectif, bien que ce cas ne soit pas prévu par les réglementations actuelles du SPANC (Service Public d'Assainissement Non Collectif).

Par ailleurs, la transformation de l'urine en engrais requiert une reclassification juridique. Considérée actuellement comme un déchet, son utilisation agricole implique la responsabilité continue du producteur, même après son épandage, à l'image des boues d'épuration. Cette configuration fait porter le risque lié à l'incertitude sur la collectivité. En revanche, si l'urine venait à être reconnue comme un produit au sens juridique, cette responsabilité se déplacerait vers l'agriculteur utilisateur. Ce changement, bien qu'il légitime la valeur économique de ces engrais, pourrait soulever une réticence parmi les utilisateurs, particulièrement en l'absence de garanties scientifiques suffisantes sur l'innocuité sanitaire et environnementale.

Ces incertitudes exigent un travail législatif et normatif. Une étude des évolutions réglementaires souhaitables ainsi que de leurs conséquences potentielles apparaît essentielle. Si le travail législatif et réglementaire n'est pas du ressort de l'ADEME, un accompagnement des pouvoirs législatifs et exécutifs dans l'évolution du cadre réglementaire apparaît pertinente.

5. Propositions d'actions à déployer par l'ADEME aux horizons 2030 et 2050

5.1. Une nécessaire coordination

Pour garantir le succès à long terme de la valorisation des excréments humains en agriculture, l'implication des décideurs politiques et administratifs est primordiale.

Il est nécessaire de travailler avec les autres acteurs administratifs afin de pousser une mise à l'agenda politique et une mise à jour réglementaire, en collaboration avec des ministères tels que le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASAF), le ministère de la Transition Ecologique (MTE) ou le ministère de la Santé (et notamment la DGS), ainsi qu'avec les agences de l'eau. La définition des rôles des agences de l'état dans le développement de la filière est indispensable et encore en cours au moment de la rédaction de ce rapport.

Plusieurs actions pouvant être mises en œuvre par l'ADEME sont présentées ci-après, réparties selon 4 axes : développement territorial, développement des sources de financement, recherche et développement et communication et sensibilisation. Ces actions pourraient être portées par d'autres agences de l'état que l'ADEME, elles apparaissent ici dans l'attente des conclusions des échanges entre les agences.

Deux horizons temporels sont considérés : un horizon de moyen terme, 2030 et un horizon de long terme, 2050.

Les principales modalités sont précisées dans le Tableau 35, et les actions sont détaillées dans la partie suivante.

Thématiques portées par l'ADEME	Horizon 2030	Horizon 2050
1. Développement territorial	Soutien à des projets pilotes à échelle intermédiaire et déployer les solutions déjà expérimentées	Soutien à la généralisation du tri à la source à l'échelle nationale, sur le modèle du tri à la source des biodéchets Appui à la construction d'un écosystème d'acteurs

2. Développement de sources de financement	Mobilisation de sources de financements existantes : piste des CEE et développement de nouvelles sources de financement	Développement de nouvelles sources de financement pour le déploiement à l'échelle nationale
3. Recherche et développement	Soutien à la recherche et au développement : définition et soutien aux thématiques prioritaires, financement de la R&D	
4. Communication et sensibilisation	A destination du grand public, des acteurs locaux et des décideurs Appui à un travail législatif et réglementaire	

Tableau 35 : Principaux axes à déployer par l'ADEME aux horizons 2030 et 2050

5.2. Soutien de projets pilotes à échelle intermédiaire

Plusieurs solutions techniques existent, mais pour nombre d'entre elles, elles n'ont été développées qu'à petite échelle.

A moyen terme, il apparaît donc nécessaire de développer des expérimentations à une échelle intermédiaire, dans une logique de montée d'échelle. Ces projets pilotes gagneront à inclure l'ensemble des parties prenantes, incluant les syndicats des eaux, collectivités en charge des Projets Alimentaires Territoriaux (PAT), mais également les acteurs agricoles (par exemple la chambre d'agriculture), de manière à garantir l'adhésion de tous à la construction de la nouvelle filière. Des réseaux d'acteurs pionniers sont également présents en France (notamment le réseau de l'assainissement écologique¹⁴), il conviendra de les mobiliser.

A long terme, un soutien plus large permettant d'envisager une généralisation de la séparation à la source pourrait être envisagé. Son échelonnement reste à construire. Il pourrait prendre exemple sur la mise en place du tri à la source des biodéchets, pour lesquels les obligations ont été initialement centrées sur les plus gros producteurs, avant un abaissement progressif des seuils.

Le Tableau 36 présente des exemples de projets pilotes potentiels.

Type de bâtiments et de territoires	Flux	Solution technique	Priorités à l'horizon 2030	Priorités à l'horizon 2050
Bâtiments d'habitation collective en milieu urbain	Urine	Toilettes séparatives à micro-chasse d'eau avec réseau gravitaire à l'échelle du bâtiment et cuve collective en rez-de-chaussée ou sous-sol	Constructions neuves d'éco-quartiers	Immeubles privés ou logements sociaux en cours de construction ou de rénovation majeure
Bâtiments d'activités	Urine	Toilettes séparatives à micro-chasse d'eau et urinoirs en complément avec réseau gravitaire et cuve collective en sous-sol du bâtiment	Stations expérimentales de l'INRAE, Sites de l'ADEME, ERP, toilettes publiques, Ecoles, campus et universités, événements extérieurs (festivals, etc.)	Entreprises, administrations, bâtiments publics, etc.
Habitat individuel en milieu urbain	Urine	Toilettes séparatives à micro-chasse d'eau avec réseau gravitaire à l'échelle du quartier et cuve collective	Particuliers et maraîchers volontaires, soutenus par une collectivité dans le cadre de	

¹⁴ <https://reseau-assainissement-ecologique.org/>

Type de bâtiments et de territoires	Flux	Solution technique	Priorités à l'horizon 2030	Priorités à l'horizon 2050
		Solutions complémentaires à des toilettes existantes (cf. micro-filières éco-citoyennes)	PAT, micro-filières citoyennes	
Habitat individuel en milieu rural	Trois flux	Toilettes séparatives sèches avec collecte par camion jusqu'à un agriculteur ; valorisation de l'urine en urino-fertilisant, des fèces en compostage	Particuliers et maraîchers volontaires, soutenus par une collectivité dans le cadre de PAT, micro-filières citoyennes	Construction neuves d'habitat dispersé proche d'un agriculteur
Habitat individuel en milieu rural	Urine	Toilettes séparatives à micro-chasse d'eau et cuve individuelle, collecte par camion jusqu'à un agriculteur		Construction neuve d'habitat dispersé proche d'un agriculteur
Habitat individuel en milieu rural	Fèces	Toilettes unitaires sèches avec valorisation locale	Soutien au développement de toilettes sèches en rénovation	

Tableau 36 : Projets pilotes possibles

5.3. Développement de solutions de financement

5.3.1. Mise en place de Certificats d'Economie d'Energie

Les **certificats d'économie d'énergie (CEE)** sont un dispositif réglementaire mis en place pour encourager les économies d'énergie dans différents secteurs, notamment le bâtiment, l'industrie, et les transports. Créés dans le cadre de la politique énergétique française, ils obligent les fournisseurs d'énergie (appelés "obligés") à financer ou réaliser des actions permettant de réduire la consommation d'énergie. Chaque action validée donne lieu à l'attribution de certificats, qui peuvent être échangés entre acteurs ou utilisés pour remplir leurs obligations. Ce système incitatif, reposant sur le principe du "pollueur-payeur", favorise la transition vers des technologies plus durables. Dans le cadre de la collecte sélective de l'urine, qui réduit la consommation d'eau et optimise le traitement des eaux usées, les CEE pourraient représenter un levier financier pour encourager l'adoption de ces dispositifs.

Un des enjeux pour l'application au tri à la source de excréments humains réside dans le fait que les économies d'énergies doivent être réalisées au niveau de l'utilisateur final. Ainsi, les économies d'énergies réalisées sur l'économie en intrants chimiques ne pourraient pas être prises en compte.

À l'inverse, les économies d'énergie réalisées par les collectivités sur le traitement des eaux usées pourraient être comptabilisées, et donner lieu au versement d'un CEE, qui pourrait servir à financer le déploiement de la collecte de l'urine, ou être redistribué aux particuliers ou entreprises installant les dispositifs de collecte. Il apparaît que seules les collectivités ayant la compétence eaux et assainissement seraient éligibles¹⁵.

La majorité de cette économie pourrait être réalisée à l'aide d'un dimensionnement plus modeste à l'occasion d'un renouvellement des infrastructures. La majorité des coûts et dépenses énergétiques des installations représentant un coût fixe, indépendant des quantités traitées.

L'énergie utilisée pour le traitement de l'azote contenu dans l'urine représente **4,8 TWh** par an en France. Ce chiffre apparaît faible au regard de la consommation énergétique finale des ménages,

¹⁵ En 2021, 13 855 collectivités sont en charge de 25 651 services d'eau potable et d'assainissement.

évaluée à 470 TWh. Il apparaît nécessaire de justifier de la pertinence de ce levier pour la réduction de la consommation d'énergie au regard des autres postes soutenus dans le cadre des CEE.

La mise en place d'un CEE peut se faire de deux manières différentes : par la rédaction d'une « fiche », ouverte à tous, ou la mise en place d'une opération spécifique pour un projet donné.

La mise en place d'une opération spécifique apparaît préférable dans un premier temps, de manière à dimensionner au mieux une fiche standardisée, dans un second temps.

- L'opération spécifique pourrait se construire avec une collectivité ayant la compétence eaux et assainissement, par exemple autour de la construction d'un écoquartier. Elle devra être associée à un travail d'étude sur le dimensionnement du traitement des eaux usées traditionnel vs. collecte sélective, permettant de quantifier les économies d'énergie réalisées. Un contrôle a posteriori de la réalité des économies d'énergies devra être réalisé. Ces chiffres pourront servir à asseoir la construction d'une fiche.
- La construction d'une nouvelle fiche exige un délai de 18 mois - 2 ans, sur la base des informations collectées dans le cadre du projet pilote. Elle permettra à d'autres collectivités de s'en saisir.

5.3.2. Développement d'autres solutions de financement

Outre les limites précédemment évoquées, les CEE visent prioritairement des questions d'énergie, tandis que l'enjeu central de la valorisation des excréments humains est une bonne gestion des nutriments. In fine, les CEE ne représentent pas nécessairement l'outil le plus adapté pour le financement de la séparation à la source de l'urine, de sorte qu'il apparaît pertinent d'envisager le développement de nouveaux outils de financement, et ceci sans attendre un horizon de long terme.

Une des priorités serait de développer d'autres leviers financiers pour soutenir les collectivités porteuses de projet, mais également les acteurs privés qui développent des solutions techniques innovantes. Des outils et programmes spécifiques pourraient être développés. Ils pourraient s'appuyer sur le modèle des crédits carbone.

Le financement pourrait s'appuyer sur le fléchage de budgets existants, tels que ceux mobilisés par les collectivités pour l'investissement dans les systèmes d'assainissement, les fonds des Agences de l'eau dédiées à la préservation des ressources, mais également le budget des agriculteurs pour la fertilisation avec des engrais de synthèse. Le Fond Economie Circulaire de l'ADEME pourrait notamment être mobilisé. Une notice pourrait être rédigée par l'ADEME, pour présenter l'ensemble des systèmes d'aides possibles.

Parmi les pistes possibles à plus long terme, une taxation des engrais azotés pourrait être envisagée. Les sommes collectées seraient fléchées directement pour les filières d'urino-fertilisants humains et pourraient participer à financer leur fonctionnement.

5.4. Poursuite et approfondissement de la recherche

Le développement de la séparation à la source de l'urine exige la poursuite du financement de la recherche. Les pistes évoquées ci-après concernent principalement les enjeux à moyen terme. Elles nécessiteront d'être amendées au fil du déploiement de la séparation à la source dans les décennies à venir.

En premier lieu, **les enjeux liés à la valorisation de l'urine gagneraient à être développés dans les travaux prospectifs menés par l'ADEME**. Les indicateurs d'autonomie azotés et plus largement les approches socio-métaboliques pourraient être systématiquement intégrés.

La poursuite du financement de la recherche publique apparaît également essentielle. Les thématiques associées à la valorisation de l'urine pourraient faire l'objet d'un fléchage dans le cadre des Appels à Projet de Recherche (APR) tels que ADEME GRAINE. L'ADEME pourrait également appuyer ces

thématiques dans le cadre d'autres dispositifs de financement (ANR, financements européens) lorsqu'Agence est mobilisée pour expertiser ces dispositifs.

Le Tableau 37 présente les principales thématiques d'intérêt.

Enjeux	Thèmes
Risques sanitaires de l'urine et modes de traitement	Impact de la présence de contaminants dans l'urine et de leur effet sur la vie des sols, risques pour la santé humaine associés, et moyens de traitement de ces contaminations
Acceptabilité sociale	Compréhension des mécanismes de changement de comportement
Enjeux organisationnels	Développement de projets pilotes, permettant de comprendre les freins et leviers organisationnels rencontrés par les acteurs
Valorisation de l'urine	Recherche agronomique sur la valeur fertilisante de l'urine sur différentes cultures, en fonction du mode de collecte et traitement, des modes d'apport, etc.
Solutions de collecte	Soutien au développement d'outils de collecte et de traitement

Tableau 37 : Axes prioritaires de Recherche et Développement à soutenir

5.5. Communication et sensibilisation

La communication et la sensibilisation devront être déployées auprès de différents publics.

Des supports pédagogiques ou reportages visant le grand public, ainsi qu'une littérature scientifique et technique existent déjà. Cette documentation est notamment recensée par le site du projet OCAPI, de l'association ARCEAU IDF ou par celui du Réseau de l'Assainissement Ecologique, dont des exemples sont indiqués au chapitre 6..

5.5.1. Sensibilisation du grand public

L'un des axes principaux consiste à relayer les actions concrètes déjà entreprises dans ce domaine à travers des campagnes de presse ou des reportages mettant en lumière des exemples de réussite et les acteurs impliqués, en mettant en avant les retours d'expérience d'habitants, d'agriculteurs ou d'agents de collectivités.

Par ailleurs, il apparaît essentiel de sensibiliser le grand public aux bénéfices de la valorisation de l'urine humaine en agriculture. Pour ce faire, il est essentiel de s'appuyer sur des supports de communication variés, notamment via les réseaux sociaux et les médias traditionnels tels que les journaux, la télévision et la radio. Nombre de ces supports existent déjà. Des supports originaux, comme le jeu de rôle « Des toilettes aux champs » ¹⁶, développé dans le cadre du programme OCAPI, peuvent en particulier être mis en avant. Ces outils permettront de vulgariser les pratiques et de dissiper les idées reçues, en expliquant de manière simple et accessible les avantages environnementaux, économiques et agronomiques de cette pratique, sans pour autant minimiser les enjeux sanitaires biologiques, en particulier en ce qui concerne les matières fécales (maladies infectieuses entériques), pour lesquels un rappel des vigilances sanitaires est important dans toute communication sur le sujet.

5.5.2. Implication des acteurs locaux

Un autre pilier de la stratégie de communication réside dans la mobilisation des acteurs locaux. Les supports produits devront capitaliser sur les projets pilotes au fur et à mesure de leur déploiement.

La mobilisation des agriculteurs est à ce titre essentiel. Elle pourra passer par la création de référentiels techniques et de guides pratiques adaptés aux différentes cultures agricoles, en partenariat avec des instituts techniques et les chambres d'agriculture, produisant des informations claires et détaillées sur les méthodes de valorisation de l'urine et permettant ainsi aux agriculteurs d'intégrer cette ressource

¹⁶ Voir sur le site du programme OCAPI : <https://www.leesu.fr/ocapi/les-projets/atelier-des-toilettes-aux-champs/>

dans leurs pratiques. Les retours d'expérience d'agriculteurs utilisateurs de l'urine devront être mis en avant. La fiche pratique « Utiliser l'urine en agriculture » développée dans le cadre du programme OCAP, représente un exemple¹⁷ de documents de sensibilisation. La communication devra insister sur les enjeux stratégiques de l'autonomie azotée, de manière à rendre possible son financement par d'autres lignes budgétaires que celles dédiés à la transition écologique.

Les collectivités et syndicats des eaux représentent également un public cible. Des supports spécifiques devront être développés pour accompagner les collectivités locales dans la mise en place de solutions technologiques adaptées, telles que les toilettes sèches séparatives, tout en impliquant les maraîchers locaux dans des projets pilotes, par exemple dans le cadre des Projets Alimentaires Territoriaux (PAT). Enfin, il sera important de sensibiliser les syndicats des eaux aux enjeux économiques et environnementaux liés au traitement de l'azote, afin de les inciter à soutenir activement cette démarche.

6. Pour en savoir plus...

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter les liens ci-dessous vers des contenus textes, audio ou vidéo, ou consulter les sites web du programme OCAP (www.[leesu.fr/ocapi](http://www.leesu.fr/ocapi)) ou du Réseau de l'assainissement écologique (reseau-assainissement-ecologique.org).



La séparation à la source : –documents génériques

Programme OCAP & association ARCEAU-IDF

https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2023/04/Brochure-S%C3%A9paration-%C3%A0-la-source-NUM_230417.pdf

Guide de l'assainissement écologique

Réseau de l'Assainissement Ecologique

reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2023/01/Guide-Assainissement-Ecologique-2023-1.pdf



Pisser et ça pousse : l'urine, un engrais en or

France Culture - De cause à effets, le magazine de l'environnement

radiofrance.fr/franceculture/podcasts/de-cause-a-effets-le-magazine-de-l-environnement/pisser-et-ca-pousse-l-urine-un-engrais-en-or-6592642



L'urine humaine pour une transformation écologique et sociale

Présentation TEDx – Fabien Esculier

youtube.com/watch?v=vu7F9l-e2sY

¹⁷ Voir sur le site du programme OCAP :

https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2024/12/fiches_agrocap_numerique_BD-compress%C3%A9.pdf

7. Références bibliographiques

- ADEME (2021) *Prospective - Transitions 2050 - Rapport*. Available at: <https://bibliothèque.ademe.fr/recherche-et-innovation/5072-prospective-transitions-2050-rapport.html> (Accessed: 27 November 2024).
- Agence européenne de l'environnement (2018) *Air quality in Europe - 2018*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2018> (Accessed: 28 January 2025).
- Agrocapi (2023) 'Utiliser l'urine humaine en agriculture - Fiches pratiques'. Available at: https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2024/12/fiches_agrocapi_numerique_BD-compress%C3%A9.pdf.
- Alighardashi, A., Pons M-N., Potier O. (2008) 'Présence et devenir des médicaments dans les eaux usées urbaines, une analyse bibliographique', *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 21(4), pp. 413–426. Available at: <https://doi.org/10.7202/019164ar>.
- Amorce (2020) *Quelles solutions pour valoriser les boues d'épuration?* Available at: <https://amorce.asso.fr/publications/quelles-solutions-pour-valoriser-les-boues-d-epuration-eat05/download>.
- Arceau (2021) *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?*
- Arceau (2023) *Enjeux réglementaires relatifs à la séparation à la source des urines et matières fécales en vue d'une valorisation agricole*.
- Barles, S. (2015) 'La boue, la voiture et l'amuseur public. Les transformations de la voirie parisienne, fin xviii e - fin xix e siècles', *Ethnologie française*, 45(3), pp. 421–430. Available at: <https://doi.org/10.3917/ethn.153.0421>.
- Beaud (2023) 'Valoriser l'urine en agriculture', in: *Journée des innovations pour une alimentation durable*. Available at: <https://www.chaireunesco-adm.com/Valoriser-l-urine-humaine-en-agriculture-quel-changement-d-echelle> (Accessed: 25 November 2024).
- Besson, M. (2017) *La séparation à la source des effluents urbains : intérêts et mise en pratique en Europe*. Projet MUSES.
- Besson, M., Berger, S., Descamps, E., Paul, E., Sperandio, M. (2020) *Rapport final projet MUSES*. Research Report. INSA Toulouse. Available at: <https://hal.science/hal-03197389> (Accessed: 25 November 2024).
- Besson, M., Berger, S., Tiruta-Barna, L., Paul, E., Sperandio, M. (2021) 'Environmental assessment of urine, black and grey water separation for resource recovery in a new district compared to centralized wastewater resources recovery plant', *Journal of Cleaner Production*, 301, p. 126868. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126868>.
- Billen, G., Aguilera, E., Einarsson, R., Garnier, J., Gingrich, S., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Le Noë, J., Sanz-Cobena, A. (2021) 'Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity', *One Earth*, 4(6), pp. 839–850. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.008>.
- Brun, F. (2018) *Freins et leviers à l'emploi de fertilisants à base d'urine humaine en agriculture en Ile-de-France*. Projet OCAPL.

- Brun, F. (2019) *Note pour concevoir et exploiter les réseaux de collecte de l'urine humaine*. Projet OCAPI.
- Brun, F (coord.) (2025). *Note de synthèse : Les éléments indésirables des urinofertilisants en agriculture*. Projet Kolos. Disponible en ligne. https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2025/05/250425_Notedesynt%C3%A8se_Ind%C3%A9sirables_VF.pdf
- CGDD (2011) *Coûts des principales pollutions agricoles de l'eau*.
- Charbonnier, P. (2022) 'La naissance de l'écologie de guerre', *Le Grand Continent*, 18 March. Available at: <https://legrandcontinent.eu/fr/2022/03/18/la-naissance-de-lecologie-de-guerre/> (Accessed: 26 November 2024).
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., Wilson, A. E. (2013) Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems'. *Nature Education Knowledge* 4(4):10
- Citepa (2021) *Rapport Secten*. Available at: https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa_Secten_ed2023_v1.pdf (Accessed: 25 November 2024).
- Coalition Clean Baltic (2009) *The Swedish Eco-Sanitation Experience : Case studies of successful projects implementing alternative techniques for wastewater treatment in Sweden*.
- Esculier, F., Houot, S., Levavasseur, F., Martin, T., Deschamps, M., Nazaret, S., Aubry, C., Brun, F., Aubin, J. (2022). *Projet Agrocap – Étude de filières de valorisation agricole d'urinofertilisants*. Rapport final. 55 p.
- Esculier, F. et Raguét, L. (2024) *Exemple de développement d'une filière citoyenne de valorisation agricole de l'urine humaine*. Projet Enville.
- Etienne, N. (2024) *Transferts et processus associés aux résidus de médicaments humains et vétérinaires et aux biocides des boues urbaines et des lisiers utilisés comme fertilisants*. phdthesis. INSA de Lyon. Available at: <https://hal.science/tel-04684348> (Accessed: 26 November 2024).
- France Stratégie (2023) *Les coûts d'abattement*. Available at: <https://www.strategie.gouv.fr/publications/couts-dabattement> (Accessed: 24 January 2025).
- FranceAgriMer (2023) *Chiffres et bilans | FranceAgriMer - établissement national des produits de l'agriculture et de la mer*. Available at: <https://www.franceagrimer.fr/Eclairer/Etudes-et-Analyses/Chiffres-et-bilans> (Accessed: 25 November 2024).
- Friedler, E. et al. (2013) 'Wastewater composition', *Source separation and decentralization for wastewater management*, pp. 241–257.
- Garnier, J., Billen, G., Aguilera, E., Lassaletta, L., Einarsson, R., Serra, J., do Rosário Cameira, M., Marques-dos-Santos, C., Sanz-Cobena, A. (2023) 'How much can changes in the agro-food system reduce agricultural nitrogen losses to the environment? Example of a temperate-Mediterranean gradient', *Journal of Environmental Management*, 337, p. 117732. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117732>.
- Goulas, A., Deschamps, M., Houot, S., Legrand, S., Esculier, F. (2020) 'Principaux enjeux liés à la présence de micropolluants organiques dans les urino-fertilisants (résidus pharmaceutiques, hormonaux et de soins personnels)'. Disponible : https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2020/04/AGROCAPI_note_pharma_200420.pdf (consulté le 18/07/2025)

- Grimm, N.B., Foster, D., Groffman, P., Grove, J.M., Hopkinson C.S., Nadelhoffer, K.J., Pataki, D.E., Peters, D.P.C. (2008) 'The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(5), pp. 264–272. Available at: <https://doi.org/10.1890/070147>.
- Hendrickson, M.K. et Heffernan, W.D. (2002) 'Opening Spaces through Relocalization: Locating Potential Resistance in the Weaknesses of the Global Food System', *Sociologia Ruralis*, 42(4), pp. 347–369. Available at: <https://doi.org/10.1111/1467-9523.00221>.
- IEA – International Energy Agency (2023) IEA. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics> (Accessed: 25 November 2024).
- INSEE (2024) *Agriculture et prélèvements d'eau douce – Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires* | Insee. Available at: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728881?sommaire=7728903#consulter> (Accessed: 25 February 2025).
- Jönsson, H. (2001) *Urine separation - Swedish experiences*.
- 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*, 124125(2), pp. 27–40.
- Joveniaux, A. (2023) *Rapport d'étude sur les dynamiques et projets autour de la séparation à la source sur le plateau de Saclay*.
- Karak, T. et Bhattacharyya, P. (2011) 'Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality', *Resources, Conservation and Recycling*, 55(4), pp. 400–408. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.008>.
- Larsen, T.A., Maurer, M., Udert, K.M., Lienert, J. (2007) 'Nutrient cycles and resource management: implications for the choice of wastewater treatment technology', *Water Science and Technology*, 56(5), pp. 229–237. Available at: <https://doi.org/10.2166/wst.2007.576>.
- Legrand, M., Joveniaux, A., Arbarotti, A., de Gouvello, B., Esculier, F., Tabuchi, J.P. (2021) *Séparation à la source et valorisation des excretats humains du grand paris : des filières émergentes*. TSM.
- Leperche, D. (2023) 'Valorisation agricole des urines : le défi de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul à Paris', *Environnement & Technique*, 22 May. Available at: <https://www.actu-environnement.com/ae/news/-valorisation-agricole-urine-zac-saint-vincent-de-paul-paris-41797.php4>.
- Lienert, J. et Larsen, T.A. (2006) Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: A case study of NoMix toilets'.
- Martin, T. (2020) 'L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable'.
- Martin, T.M.P., Esculier, F., Levvasseur, F., Houot, S (2022) 'Human urine-based fertilizers: A review', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(6), pp. 890–936. Available at: <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1838214>.
- Martin, T.M.P., Aubin, J., Gilles, E., Auberger, J., Esculier, F., Levvasseur, F., McConville, J., Houot, S. (2023) 'Comparative study of environmental impacts related to wheat production with human-urine based fertilizers versus mineral fertilizers', *Journal of Cleaner Production*, 382, p. 135123. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135123>.

- Maysonnave, E., Lebihain, M., Crolais, A., Le Gal, A. (2016). L'or liquide : L'innovation socio-technique en assainissement par la mise en synergie d'acteurs locaux : le cas de la collecte sélective des urines sur le plateau de Saclay. Rapport de Groupe d'analyse de l'action publique. <hal-01320819>
- Miege, C., Choubert, J.M., Ribeiro, L., Eusebe, M., Coquery, M. (2009) 'Le devenir des résidus pharmaceutiques dans les stations d'épuration d'eaux usées : une synthèse de la littérature'. Available at: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/6474721e79cbb2c2c1b23583> (Accessed: 25 November 2024).
- Minier, P. (2023) *Assainir la ville sans contaminer l'environnement : tout-à-l'égout et séparation à la source face au risque sanitaire lié aux matières fécales*. phdthesis. École des Ponts ParisTech. Available at: <https://pastel.hal.science/tel-04511281> (Accessed: 25 February 2025).
- Nordin, A. (2010) 'Ammonia Sanitisation of Human Excreta Treatment - Technology for Production of Fertiliser'. Unpublished. Available at: <https://doi.org/10.13140/2.1.3882.8486>.
- OCDE (2019) *Coût social du carbone*. Paris: OCDE, pp. 377–419. Available at: <https://doi.org/10.1787/346c3272-fr>.
- OMS (2012) *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères. Vol. IV Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture* Éd. OMS. ISBN 978 92 4 254685 9
- Soyer, M. (2022) *Les usagers de toilettes sèches en Limousin : retours d'expérience. Une enquête sociologique menée sur le plateau de Millevache*. Ecole des Ponts Paris Tech. Available at: <https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2022/06/RAPPORT-TS-LIMOUSIN-A-DIFFUSER-06-22.pdf>.
- Soyer, M. Legrand, M. de Gouvello, B (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*.
- Soyer, M., 2022. Les usagers de toilettes sèches en Limousin : retours d'expérience. *Une enquête sociologique menée sur le plateau de Millevaches. Rapport d'étude, 106pp. Disponible : <https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2022/06/RAPPORT-TS-LIMOUSIN-A-DIFFUSER-06-22.pdf>. (Consulté le 18/07/2025).*
- SPF (2025) *Estimation de la morbidité attribuable à l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant et de ses impacts économiques en France hexagonale, 2016-2019. Volume 2 : Évaluation des impacts économiques*. Available at: <https://www.santepubliquefrance.fr/import/estimation-de-la-morbidite-attribuable-a-l-exposition-a-long-terme-a-la-pollution-de-l-air-ambiant-et-de-ses-impacts-economiques-en-france-hexagonale> (Accessed: 4 February 2025).
- Starck, T., Fardet, T., Esculier, F. (2024a) 'Fate of nitrogen in French human excreta: Current waste and agronomic opportunities for the future', *Science of The Total Environment*, 912, p. 168978. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168978>.
- Starck, T., Fardet, T., Esculier, F. (2024b) 'Phosphorus recycling from human excreta in French agroecosystems and potential for food self-sufficiency', *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10705-024-10367-4>.
- Starck, T. (2024) *Towards a circular management of nitrogen and phosphorus in human excreta: current state, global agricultural potential, and spatial constraint in France*. phdthesis. Ecole nationale des ponts et chaussées. Available at: <https://hal.science/tel-04727806> (Accessed: 25 November 2024).

- Starck, T. et Esculier, F. (2024) 'Nutriments dans les eaux usées : premier bilan national détaillé d'une déperdition de ressources stratégiques', *Techniques Sciences Méthodes*, (TSM 7/8 2024), pp. 49–68. Available at: <https://doi.org/10.36904/20240749>.
- Stockholm Resilience Centre (2009) *Annual report*. Available at: <https://www.stockholmresilience.org/download/18.408d96d2127f20319c180007627/1459560190774/src-annualreport-2009.pdf> (Accessed: 25 November 2024).
- TDM Association (2008) *Les nouvelles technologies d'écoassainissement : Compte rendu du voyage d'étude en Allemagne*. Disponible : <https://reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2020/04/voyage-allemande.pdf> (consulté le 18/07/2025)
- Tedesco, C. Petit, C., Billen, G., Garnier, J., Personne, E. (2017) 'Potential for recoupling production and consumption in peri-urban territories: The case-study of the Saclay plateau near Paris, France', *Food Policy*, 69, pp. 35–45. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.006>.
- UNIFA (2024) *Les statistiques de campagne : retrouvez l'historique des campagnes de livraisons d'engrais | Unifa*. Available at: <https://www.unifa.fr/statistiques-du-secteur/les-statistiques-de-campagne-retrouvez-l-historique-des-campagnes-de> (Accessed: 25 November 2024).
- Weingart, L. (2022) *Les usages urbains de l'urine comme fertilisant. Etude des pratiques de gestion alternative de l'urine par le jardinage dans les sphères domestiques et associatives d'Ile-de-France*. Mémoire de Master 1, Urbanisme et aménagement. Université Paris 1.
- World Bank (2020) *The Global Health Cost of Ambient PM2.5 Air Pollution*. World Bank. Available at: <https://doi.org/10.1596/35721>.
- Yannou, J. (2024) *L'institutionnalisation des toilettes sèches dans les parcs de la Seine Saint Denis : Perspectives de gestion et d'usage*. Mémoire de Master 2 Environnements Urbains,. Ecole d'urbanisme de Paris.
- Zinati Shoa, T. (2021) 'Resource recovery of source separated sanitation compared to conventional system for sustainable urban wastewater management'.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

FIGURES

<u>Figure 1 : Filières de tri à la source des excréments humains (d'après Legrand et Esculier, 2021)</u>	10
<u>Figure 2 : Comparaison des volumes produits par Français, en m³ par an et par habitant (source : Friedler et al. 2013, Agrocapi, 2022, Sispea 2021)</u>	11
<u>Figure 3 : Bilan azote des stations d'épuration françaises (Starck et Esculier, 2024)</u>	12
<u>Figure 4 : Bilan phosphore des stations d'épuration françaises (Starck, Esculier, 2024)</u>	12
<u>Figure 5 : Part maximale des apports d'azote chimique en agriculture fertilisables par des apports d'urine</u>	20
<u>Figure 6 : Filière de tri à la source des urines</u>	46
<u>Figure 7 : Toilettes séparatives avec chasse d'eau (gauche : (TDM Association, 2008) ; droite : Caby, 2013 d'après (Maysonnave et al., 2016)</u>	46
<u>Figure 8 : Projet d'éco-quartier Saint Vincent de Paul et schéma du système de collecte et valorisation de l'urine (Joveniaux et al., 2022)</u>	47

<u>Figure 9 : Urinoir masculin sec relié (Jovéniaux, 2023) et urinoir féminin (https://urinoirmarcelle.fr/).....</u>	47
<u>Figure 10 : Dispositifs ad-hoc et low tech pour collecter l'urine (Esculier et Raguét, 2024)) ; de gauche à droite : urinoir d'appoint relié à un bidon (d'après Toilet for People), siège ou urinoir assis (d'après Toilet for people), bidon 5L et réducteur, avec raccords PVC de plomberie.....</u>	48
<u>Figure 11 : Dispositifs de transport de l'urine (Esculier et Raguét, 2024) ; de gauche à droite : transport de bidons d'urine à vélo par l'utilisateur du domicile au point d'apport volontaire ; station de transvasement de l'urine en point d'apport volontaire ; station mobile de transport de l'urine à la ferme</u>	48
<u>Figure 12 : Filière de tri à la source des fèces.....</u>	49
<u>Figure 13 : Logement collectif du quartier Au Claire à Grenoble et toilettes sèches séparatives des 5 appartements concernés</u>	50
<u>Figure 14 : Filière de tri à la source des eaux noires.....</u>	50
<u>Figure 15 : Exemple de toilettes sèches unitaires (Legrand et al., 2021)</u>	51
<u>Figure 16 : Filière de tri à la source des trois flux</u>	52
<u>Figure 17 : Cuvette séparative pour toilettes sèches (https://trobolo.com/)</u>	52
<u>Figure 18 : Tricycle de collecte des excréments (urines et fèces séparées) et toilettes sèches séparatives mises en place dans le cadre de l'expérimentation de l'association La Fumainerie à Bordeaux</u>	53
<u>Figure 19 : Système de collecte d'une filière trois flux avec eau dans une école en Suède (Coalition Clean Baltic, 2009)</u>	53
<u>Figure 20 : Répartition du gisement d'urine en France par type de bâtiment de production</u>	57
<u>Figure 21 : Prospective des gisements d'urine captables entre 2030 et 2050 en fonction du scénario de transition écologique adopté</u>	59
<u>Figure 22 : Caractéristiques territoriales à prendre en compte pour la collecte des excréments humains..</u>	60
<u>Figure 23 : Taux de substitution maximum de l'azote par des apports d'urine, par région à apports d'intrants constants (poursuite du modèle agricole conventionnel)</u>	63

TABLEAUX

<u>Tableau 1 : Part des apports d'azote de la production de blé pouvant être couverts par l'azote contenu dans l'urine des Français</u>	16
<u>Tableau 2 : Autonomie azotée de la France dans le cadre du système agricole actuel</u>	17
<u>Tableau 3 : Comparaison des nutriments (N, P et K) contenus dans l'urine produite par l'ensemble des Français et dans les fertilisants de synthèse utilisés par les agriculteurs français.....</u>	17
<u>Tableau 4 : Autonomie azotée de la France dans le cadre d'un modèle agro-écologique</u>	18
<u>Tableau 5 : Autonomie azotée de la France dans le cadre des scénarios ADEME Transition 2050</u>	19
<u>Tableau 6 : Distance entre le lieu de production et le lieu de valorisation de l'urine</u>	20
<u>Tableau 7 : Différence entre les besoins énergétiques du système avec tri à la source et ceux du système de référence.....</u>	21
<u>Tableau 8 : Economie en ressources réalisée, exprimée par rapport à un équivalent en Antimoine</u>	22
<u>Tableau 9 : Différence entre les besoins en eau du système avec tri à la source de l'urine et ceux du système de référence</u>	23
<u>Tableau 10 : Différence entre les émissions de GES du système avec tri à la source de l'urine et ceux du système de référence</u>	24

<u>Tableau 11 : Différence entre les émissions de nutriments dans les milieux aquatiques du système avec tri à la source de l'urine et ceux du système de référence.....</u>	24
<u>Tableau 12 : Différence entre les émissions de particules fines PM 2.5 dans les milieux aquatiques du système avec tri à la source de l'urine et pour le système de référence.....</u>	25
<u>Tableau 13 : Différence entre les émissions de produits acidifiants dans les milieux aquatiques du système avec tri à la source de l'urine et pour le système de référence.....</u>	25
<u>Tableau 14 : Evaluation de la quantité de produits pharmaceutiques rejetés dans les milieux aquatiques, et de la part évitable grâce au tri à la source des urines.....</u>	27
<u>Tableau 15 : Synthèse des indicateurs environnementaux</u>	28
<u>Tableau 16 : Coûts d'investissement de la filière urine à l'échelle française.....</u>	32
<u>Tableau 17 : Coûts d'opération et maintenance de la filière urine à l'échelle française.....</u>	33
<u>Tableau 18 : Comparaison du coût d'investissement du système conventionnel existant avec des systèmes comprenant la séparation des urines ou des eaux noires, en milliards d'euros / an.....</u>	34
<u>Tableau 19 : Comparaison du coût de l'assainissement conventionnel existant ou avec tri à la source de l'urine.....</u>	35
<u>Tableau 20 : Coûts évités pour les collectivités pour le traitement de l'azote.....</u>	36
<u>Tableau 21 : Bilan des coûts des différents systèmes d'assainissement (conventionnels / avec séparation des urines / avec séparation des eaux noires) en milliards d'euros.....</u>	36
<u>Tableau 23 Diminution du coût du service d'eau et d'assainissement grâce au recours aux toilettes sèches ou séparatives à chasse d'eau réduite.....</u>	37
<u>Tableau 24 : Valeur économique de l'azote contenu dans l'urine et prix des engrais de synthèse livrés en France.....</u>	38
<u>Tableau 25 : Coût de la dépendance à l'importation de matières fertilisantes. Valeur potentielle de l'azote contenu dans l'urine des Français en fonction du contexte géopolitique.....</u>	40
<u>Tableau 26 : Coût évitable des émissions de CO₂ évitables par la séparation de l'urine</u>	40
<u>Tableau 27 : Coût de l'abattement du CO₂</u>	41
<u>Tableau 28 : Coûts des impacts environnementaux évitables par la séparation de l'urine.....</u>	42
<u>Tableau 29 : Synthèse des indicateurs économiques</u>	42
<u>Tableau 30 : Cibles et niveau de maturité des filières de tri à la source des excréments humains</u>	54
<u>Tableau 31 : Panorama d'expérimentations de tri à la source d'excréments en France (non exhaustif) - Ioveniaux et al. (2022) et cartographie en ligne⁸ « toilettes fertiles ».....</u>	55
<u>Tableau 32 : Panorama d'expérimentations de tri à la source d'excréments en Europe (non exhaustif) - Besson, 2017 et cartographie en ligne⁸ « toilettes fertiles »</u>	56
<u>Tableau 33 : Rythme prévisionnel, par scénario de la prospective ADEME, des volumes d'urines captés par an entre 2025 et 2050 à partir du nombre bâtiments construits ou rénovés (d'après prospective ADEME, 2021)</u>	58
<u>Tableau 34 : Synthèse des cibles et flux prioritaires par type de territoire.....</u>	61
<u>Tableau 35 : Principaux axes à déployer par l'ADEME aux horizons 2030 et 2050</u>	69
<u>Tableau 36 : Projets pilotes possibles.....</u>	70
<u>Tableau 37 : Axes prioritaires de Recherche et Développement à soutenir</u>	72

SIGLES, ACRONYMES ET GLOSSAIRE

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ACV	Analyse de Cycle de Vie
AMAP	Association pour le Maintien de l'Agriculture Paysanne
APR	Appel à Projets de Recherche
CEE	Certificat d'Economie d'Energie
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CO₂	Dioxyde de Carbone
DGS	Direction Générale des Services
EHPAD	Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes
ENS	Ecole Normale Supérieure
EPA	Etablissement Public d'Aménagement
Eaux noires	Correspondent aux eaux vannes, composées de l'urine, des fèces et des eaux de chasse
GES	Gaz à Effet de Serer
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Lisain	Urine brute stockée
MASAF	Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire
MTE	Ministère de la Transition Ecologique
MUSES	Modélisation Urbaine de Séparation des Effluents à la Source
N	Azote
N₂O	Protoxyde d'Azote
NH₄	Ammonium
OCAPI	Programme de recherche Optimisation des cycles Carbone, Azote et Phosphore en ville
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
P	Phosphore
PAT	Projet Alimentaire Territorial
PFAS	Perfluoroalkylés et Polyfluoroalkylés
PM_{2.5}	Particules fines à 2,5 µm
PSE	Paielement pour Services Environnementaux
SCST	Sanitation Concepts for Separate Treatment of urine, faeces and greywater
SISPEA	Système d'Information sur les Services d'Eau et d'Assainissement
SPANC	Service Public d'Assainissement Non Collectif
SPF	Santé Publique France
STEP	Station d'Épuration
UNIFA	Union des Industries de la Fertilisation



EXPERTISES

COLLECTE A LA SOURCE ET VALORISATION AGRONOMIQUE DES EXCRETATS HUMAINS

La valorisation des excréments humains, notamment les urines, constitue une opportunité pour répondre à des enjeux environnementaux, économiques et agricoles. Ce rapport analyse les impacts et la faisabilité de la collecte à la source et de la valorisation agronomique des excréments humains à l'échelle nationale.

Impacts environnementaux : la valorisation des urines pourrait réduire de 85 Mégatonnes les émissions de CO₂ équivalent par an, économiser jusqu'à 628 millions de m³ d'eau potable et éviter le rejet dans les eaux de surface de 269 000 t d'azote par an.

Impacts économiques : la collecte et la valorisation des urines engendrerait des coûts d'investissement et d'opération modérés, avec des économies potentielles réalisables par les collectivités pour l'assainissement classique, ou par les ménages et les agriculteurs.

Cibles et flux prioritaires : différentes solutions techniques existent ; certaines, déjà éprouvées en France, peuvent être déployées, tandis que d'autres nécessitent des expérimentations à une échelle intermédiaire. Les priorités incluent un déploiement focalisé sur la séparation à la source de l'urine, avec des modalités différenciées selon les zones urbaines et rurales. Il convient également d'organiser, entre autres par des redistributions, la viabilité économique de ces filières en émergence. Une sensibilisation accrue des acteurs et le soutien à des projets pilotes sont cruciaux pour assurer l'appropriation sociale et l'équilibre économique.

Essentiel à retenir

La séparation à la source de l'urine présente des intérêts environnementaux importants et des coûts économiques modérés.

Il existe déjà de nombreuses expérimentations en France et des pistes prometteuses se dessinent pour un déploiement à l'échelle nationale.