



La séparation à la source et la valorisation des excréments humains : étude des dynamiques d'émergence d'un outil de transition écologique à travers le cas de l'Île-de-France

Mémoire de stage de l'Université Paris-Saclay

Faculté de Jean Monnet - Droit, économie, gestion

Master 2 Développement Agricole Durable

Présenté par : Kelly CAN

Enseignant encadrant : Bjorn NILSSON

Encadrantes de stage : Marine Legrand et Aurélie Joveniaux

Organisme du stage : Programme de recherche-action OCAP, LEESU, Ecole nationale des ponts et chaussées, IP Paris, Univ Paris-Est Créteil

Durée du stage : 6 mois, du 1er avril au 30 septembre 2024

Mémoire soutenu en Septembre 2024

Année universitaire 2023-2024

La version définitive de ce mémoire est publiée en août 2025 après une relecture de Marine Legrand et Fabien Esculier.

A la mémoire de Kelly Can, disparue trop tôt.

L'Université Paris Saclay n'entend donner aucune approbation ni improbation dans les mémoires et/ou rapports de stage des étudiants. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers Marine Legrand et Aurélie Joveniaux, qui ont encadré ce mémoire et ce stage. Je les remercie sincèrement de m'avoir soutenue et accompagnée tout au long de cette expérience, ainsi que pour tout ce qu'elles m'ont appris.

Je remercie également Björn Nilsson, mon enseignant tuteur, pour son suivi et sa bienveillance tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers l'équipe du programme OCAP et le LEESU pour m'avoir accueillie lors de ce stage. Un merci tout particulier à Fabien Esculier avec qui j'ai pu affiner mon projet professionnel et personnel.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes avec qui j'ai eu l'opportunité de m'entretenir dans le cadre de ce mémoire, certains entretiens s'étant transformés en discussions passionnées de plusieurs heures.

Enfin, je remercie ma famille pour leur présence, et en particulier Abel, pour son soutien infaillible tout au long de ces deux années de Master.

Liste des sigles

Abréviations et acronymes

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AESN : Agence de l'eau Seine Normandie

AMO : Assistance à maîtrise d'ouvrage

BNP : Banque nationale de Paris

CAUE (75) : Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement

CEREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CSTB : Centre scientifique et technique du bâtiment

DRIAAF : Direction régionale et interdépartementale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

DRIEAT : Direction régionale et interdépartementale Environnement-Aménagement-Transports

DRIEE : Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie

EAWAG : Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau)

ENPC : École nationale des ponts et chaussées

EPAPS : Établissement public d'aménagement Paris-Saclay

ERP : Établissement recevant du public

ESA : European space agency (Agence spatiale européenne)

FNAB : Fédération nationale d'agriculture biologique

GEMAPI : Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

GES : Gaz à effet de serre

IDF : Île-de-France

IPR : Institut Paris Région

LEESU : Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains

MELiSSA (projet) : Micro-Ecological Life Support System Alternative

METIS (UMR) : Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols

MGP : Métropole du Grand Paris

OCAPI : Organisation des cycles Carbone, Azote, Phosphore dans les territoires
P&MA : Paris & Métropole Aménagement
PIREN-Seine : Programme Interdisciplinaire de Recherches sur l'Environnement
REX : Retour d'expérience
SIAAP : Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne
STEP : Station d'épuration
T&C : Terre et Cité
TANGO : Transition de l'assainissement urbain vers une nouvelle gestion de la matière organique
TBI : Toulouse Biotechnology Institute
VDP : Ville de Paris
ZAC : Zone d'aménagement concerté

Listes des tableaux, cartes et figures

Tableau 1.1. Liste des acteurs interrogés

Tableau 1.2. Liste des acteurs interrogés par PwC, Solagro et Le Sommer Environnement

Tableau 2. Liste des projets de séparation à la source en Île-de-France

Carte 1. Carte des projets de séparation à la source en Île-de-France, hors Paris

Carte 2. Carte des projets de séparation à la source à Paris

Figure 1. Les 4 types de séparations à la source

Figure 2. Façade du siège de l'ESA

Figure 3. Une bouteille d'engrais Aurin®

Figure 4. Projection du futur écoquartier Saint-Vincent de Paul

Figure 5. Le NEXT (Lot C1.5B)

Figure 6. Projet de la ZAC de Corbeville

Figure 7. Caractérisation des différents effluents composant les eaux usées domestiques

Figure 8. Toilette Laufen Save! au siège de l'ESA

Figure 9. Mécanisme de la toilette Laufen Save!

Figure 10. Toilette à séparation d'urine à compartiment de la marque Wostman

Résumé

Ce mémoire examine la dynamique de développement de la séparation à la source en milieu urbain, à travers le cas de la région Île-de-France, face à des enjeux environnementaux et agricoles majeurs. Le changement climatique entraîne une diminution des débits des eaux, ce qui contribue à augmenter les tensions sur l'assainissement urbain et aggrave la pollution des milieux aquatiques. En parallèle, l'agriculture se voit confrontée à une dépendance aux engrais synthétiques importés qui, en plus de polluer les eaux, émettent des gaz à effet de serre et rendent le pays dépendant des fluctuations internationales. Dans ce contexte, la séparation à la source apparaît comme une solution capable d'aborder ces défis de manière intégrée.

Afin de comprendre les dynamiques de développement de la séparation à la source en milieu urbain, ce mémoire se penche sur les retours d'expérience de projets en Île-de-France. Pour ce faire, une enquête qualitative a été menée, basée sur 28 entretiens conduits ainsi que sur 9 comptes rendus d'entretiens réalisés par le groupement PwC, Solagro et Le Sommer Environnement dans le cadre d'une étude parallèle. L'analyse de ces entretiens a été complétée par un recensement et une étude des projets en cours en Île-de-France.

Les résultats mettent en lumière plusieurs projets pilotes démonstrateurs, soutenus par des acteurs aux approches diverses. On observe une dynamique fortement orientée vers la valorisation des urines, avec une structure de réseau qui dépend grandement des acteurs impliqués. Cependant, le pouvoir des acteurs institutionnels demeure prépondérant, et un verrouillage sociotechnique important continue de limiter l'adoption et l'intégration de ces initiatives dans les pratiques actuelles.

En conclusion, bien que la séparation à la source se situe actuellement dans une phase de développement encore expérimentale, une dynamique croissante émerge autour de ce sujet en Île-de-France. Si l'issue de cette diffusion demeure incertaine, le fait que la séparation à la source soit de plus en plus présente dans les discussions et les initiatives constitue un indicateur positif.

Mots-clés : séparation à la source, urinofertilisants, excréments, engrais, assainissement urbain, économie circulaire, transition écologique.

Sommaire

Remerciements	4
Liste des sigles	5
Listes des tableaux, cartes et figures	6
Résumé	7
Sommaire	8
Introduction	9
Chapitre I - Méthodologie de l'étude	14
1.1. Définition de l'objet d'étude	14
1.2. Définition de la méthode d'enquête	15
1.3. Limites et biais de l'enquête	19
Chapitre II - Les dynamiques franciliennes sur la séparation à la source	20
2.1. Les projets actuels de séparation à la source en Île-de-France	20
2.2. Des projets pilotes démonstrateurs de la transition écologique et sociale	24
2.2.1. Le siège de l'Agence spatiale européenne	25
2.2.2. L'écoquartier Saint-Vincent-de-Paul	27
2.2.3. Le Plateau de Saclay	29
2.3. Une entrée en matière diversifiée	31
2.3.1. Les émissions de carbone : une préoccupation des acteurs institutionnels	32
2.3.2. La limite des systèmes d'assainissement urbain	33
2.3.3. L'économie d'eau potable et la pollution de l'eau	34
2.3.4. Tisser des liens entre les milieux urbains et ruraux	36
2.3.5. Une volonté de souveraineté alimentaire	38
2.4. Une dynamique fortement orientée vers la séparation des urines	38
2.5. Une dynamique de réseau très "personne-dépendante"	44
Chapitre III - Les freins et leviers à l'émergence de la séparation à la source et la valorisation des excréments humains	48
3.1. Une phase de développement encore très expérimentale	48
3.1.1. Des filières encore jeunes et instables	48
3.1.2. Un manque de débouché ou un manque de ressource ?	49
3.1.3. Une viabilité économique en questionnement	50
3.2. Le rôle essentiel du cadre institutionnel	52
3.2.1. Une réglementation qui fait manquer des opportunités	52
3.2.2. Le rôle décisif des acteurs institutionnels	54
3.2.3. Une filière non prioritaire dans les projets d'aménagement	57
3.3. Un sujet disruptif qui fait face à un verrouillage sociotechnique	58
3.3.1. Une complexité technique qui se révèle chemin faisant	58
3.3.2. De la « modernité » aux « résidus médicamenteux » : des sujets de préoccupation à approfondir	61
3.3.4. Un besoin de pédagogie et de communication pour l'adhésion des parties prenantes	64
Conclusion	66
Bibliographie	68
Annexe	70

Introduction

Pour les Jeux Olympiques de Paris en 2024, l'État français avec la région Île-de-France et la Ville de Paris, lancent le Plan Qualité de l'Eau et Baignade. L'objectif de celui-ci est de dépolluer l'eau de la Seine et de la Marne de façon pérenne, afin d'obtenir une qualité de l'eau suffisante pour y autoriser la baignade. Pour atteindre cette qualité, les mesures consistent entre autres à « désinfecter les rejets d'eaux usées à la sortie des stations d'épuration en amont de Paris ; supprimer les rejets directs d'eaux usées dans les rivières lorsqu'il ne pleut pas ; traiter les sources locales de pollution, en supprimant les rejets d'eaux usées des bateaux ; et réduire les rejets de temps de pluie des réseaux d'assainissement. » (DRIEAT, 2023). Mais de quelle pollution parle-t-on ?

i. Limites des systèmes d'assainissement actuels face à la densification des milieux urbains

C'est avant tout dans un souci de lutte contre le péril fécal¹ que l'actuelle directive européenne sur la baignade (2006/7/CE) définit des seuils de qualité des eaux de baignade, basés sur la surveillance de deux types de bactéries indicatrices de contamination fécale : *Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux, tous deux résidents des intestins humains et d'autres mammifères (Legrand et Meulemans, 2021). Toutefois, les bactéries fécales ne sont pas les seules sources de pollution des eaux lorsque les excréments se retrouvent dans les cours d'eau. Une autre source de pollution majeure est la pollution azotée, causée principalement par les urines qui représentent environ 80% de l'azote présent dans les eaux usées (Esculier *et al.*, 2018). C'est en effet le rejet d'azote (et de phosphore) qui mène à l'eutrophisation des milieux aquatiques. En plus des rejets liés aux systèmes d'assainissements, la lixiviation des engrais employés dans l'agriculture provoque également des rejets d'azote et de phosphore dans les systèmes aquatiques (Pinay *et al.*, 2017).

Dans de nombreux pays, la densification et l'extension urbaine s'accroissent à un rythme effréné. En France, la part des urbains représente 82% en 2023 selon les données de la Banque Mondiale². La quantité d'excréments³ humains à gérer en ville s'accroît proportionnellement et des questions de salubrité ainsi que de pollution des milieux se posent. A la fin du XIXe siècle,

¹ Danger lié au risque de contamination par des micro-organismes pathogènes présents dans les matières fécales.

² <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=map>, consulté le 16 mai 2025.

³ Le terme d'excréments, ou excreta, désigne ici les urines et les matières fécales humaines.

en France, les excréments humains des villes étaient en grande partie transportés par voie terrestre et acheminés jusqu'aux champs pour être épandus, souvent via des usines où les matières étaient transformées en poudrette, utilisée comme engrais (Esculier, 2018). Les excréments humains, au même titre que les fumiers, lisiers et purins issus des élevages, étaient des ressources précieuses pour la croissance des cultures. Au cours du XXe siècle, le tout-à-l'égout prend de l'ampleur et finit par devenir la norme (Barles, 2005). Les excréments revêtent alors un statut de déchet à éliminer.

Dans le même temps, au début du XXe siècle, le procédé de fabrication Haber-Bosch voit le jour. Ce procédé permet la production d'engrais ammoniacaux de synthèse. Ces derniers sont toutefois énergivores, utilisant des combustibles fossiles, pour leur fabrication et leur acheminement. Sutton *et al.* (2013) estiment que ce procédé représente 2 % de la consommation énergétique mondiale.

Cette destruction de nutriments d'un côté dans les stations d'épuration et la fabrication de nutriments de l'autre par le procédé Haber-Bosch, démontrent l'incohérence de la décorrélation des systèmes alimentation et excrétion, ainsi que l'ouverture du cycle des nutriments (Esculier, 2018).

Au niveau de l'assainissement conventionnel, un siècle après l'avènement du tout-à-l'égout, le prélèvement et la pollution de l'eau douce deviennent insoutenables (Legrand *et al.*, 2021). Au niveau du contexte francilien, l'augmentation de la population dans l'agglomération parisienne, couplée avec une baisse de débit de la Seine due aux changements climatiques (Habets *et al.*, 2011), accentue l'incertitude quant à la soutenabilité de ce système de traitement et d'utilisation des eaux. Esculier *et al.* (2015) estiment que d'ici 2050, le débit du fleuve devrait être inférieur de 30 % à celui de 2015, tandis que la population parisienne devrait augmenter de plus de 10 %, ce qui réduirait considérablement les possibilités de dilution des nutriments. Cette concentration de pollution, notamment par l'azote et le phosphore, entraînerait un risque accru d'eutrophisation et d'émissions toxiques en provenance de la prolifération algale. Cette baisse de qualité de l'eau de la Seine impacterait également sa faune et sa flore (AESN, 2023).

ii. La séparation à la source, une voie vers une moindre indépendance aux engrais synthétiques importés : un enjeu économique, géopolitique et environnemental

La séparation à la source consiste à séparer les différents effluents des eaux usées urbaines dès leur production, à la manière d'un tri sélectif. Ainsi, eaux grises (ménagères), urines et matières fécales sont séparées dès leur émission. La séparation à la source répond à un double enjeu : réduire la pollution des eaux au niveau des systèmes d'assainissement collectifs et finalement dans les cours d'eau où l'eau usée traitée sera rejetée et l'eau prélevée par la suite ; et fournir un engrais organique et local, en recyclant les excréments humains.

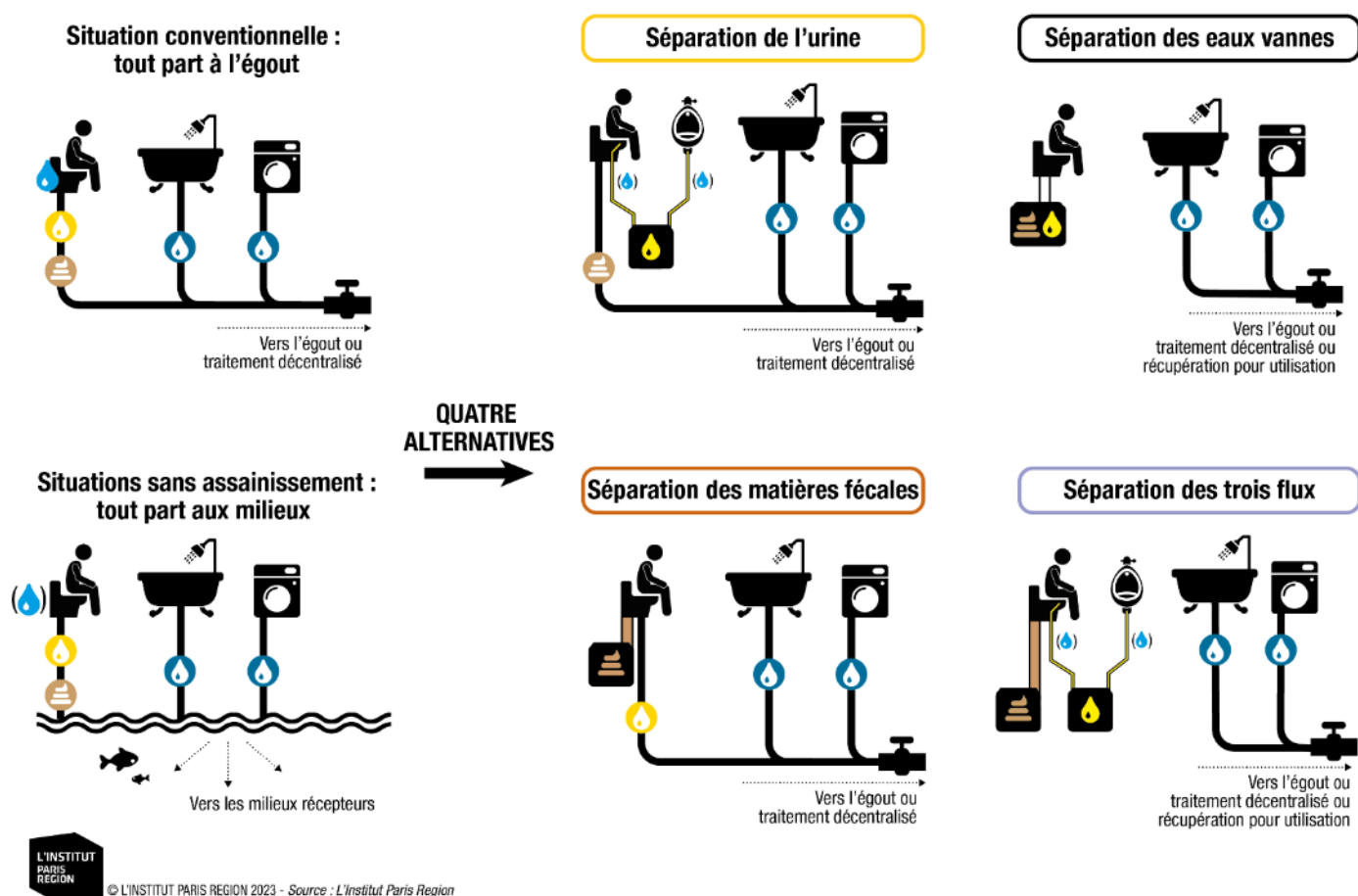


Figure 1. Les 4 types de séparations à la source (Source : IPR)

Aujourd'hui, près de 50 % de la planète dépend des engrais de synthèse pour cultiver (Erisman *et al.* 2008). Or, le procédé Haber-Bosch consomme entre 3 à 5 % de la production mondiale de gaz naturel (Smil, 2001). De nombreux pays, dont la France, ne produisent pas de gaz naturel, et dépendent donc des importations étrangères, mettant en jeu des problématiques d'ordre économique et géopolitique. Interviennent alors les questions de sécurité alimentaire et de résilience de ces pays totalement dépendant aux engrais synthétiques importés.

À titre d'exemple, la crise énergétique en 2022 causée par la guerre en Ukraine a fait augmenter le prix des engrais d'un facteur 4 en France, entre autres du fait que le gaz importé, en particulier de Russie, y est nécessaire pour la fabrication de l'ammoniac par le procédé Haber-Bosch. Les pays totalement dépendants aux engrais importés se retrouvent donc au mieux face à une inflation des produits alimentaires et, au pire, face à l'insécurité alimentaire.

La séparation à la source répond alors à un double enjeu : les limites des systèmes d'assainissement et la dépendance de l'agriculture aux engrais fossiles le plus souvent importés. Cet outil permet d'une part de réduire la pollution d'eau douce et le prélèvement pour l'eau potable, la mettant à disposition pour un meilleur usage moins polluant ; d'autre part, elle constitue une pratique d'agriculture durable par le recyclage des nutriments (N, P, K), largement excrétés dans les urines (environ 85% de l'azote excrété par l'humain se trouve dans les urines (Friedler *et al.*, 2013)).

iii. Le programme OCAP

Ce mémoire de Master 2 s'inscrit dans un stage du programme OCAP (Organisation des cycles carbone, azote et phosphore dans les territoires). OCAP est un programme de recherche-action principalement porté par le LEESU (Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains), à l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

Aujourd'hui décliné en six axes⁴, le programme s'interroge sur les modalités de gestion des urines et matières fécales humaines et s'intéresse aux méthodes de gestion alternatives à l'assainissement conventionnel. Les connaissances scientifiques acquises permettent en parallèle de mener des actions sur le terrain, notamment par la démonstration et l'animation autour de ces sujets. Ainsi, ce programme tente par une approche interdisciplinaire et systémique, de tisser un lien nouveau entre les milieux urbains et ruraux. Ce lien a en effet été

⁴ Métabolisme, agriculture, dynamiques sociales, santé, démonstrateurs et animation territoriale.

rompu avec l'avènement des engrais miniers et de synthèse pour la fertilisation au cours du XX^{ème} siècle, accompagné d'un large renoncement à la valorisation agricole des excréments humains, ce qui soulève aujourd'hui différents sujets de préoccupation, tant au niveau environnemental qu'en termes de sécurité alimentaire.

iv. Le stage et le mémoire

Au sein du programme OCAP, le stage se rattache plus particulièrement à un partenariat initié avec l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN) et l'ADEME (2024-2025) visant à faire émerger un centre de ressource national sur la séparation à la source des excréments humains en vue de leur valorisation agricole.

Ce stage ainsi que ce mémoire ont pour objectif de contribuer à favoriser le développement de cette thématique au niveau national. Cette étude s'inscrit dans le périmètre de la région Île-de-France, où plusieurs projets pilotes voient le jour.

Ils permettront également de nourrir la réflexion du projet ANR TANGO⁵ (Transition de l'assainissement urbain vers une nouvelle gestion de la matière organique, 2023-2026), qui a pour but d'analyser comment peut se mettre en place une gestion articulant biodéchets et excréments conjointement dans le temps et selon différentes configurations urbaines.

Ce mémoire propose de répondre à la problématique suivante :

À travers l'étude des retours d'expériences de projets de séparation à la source, quelles sont les dynamiques de développement observables dans l'émergence de filières de séparation à la source en milieu urbain ?

Par une étude qualitative de collecte et d'analyse de retours d'expérience (REX) de divers projets de séparation à la source, nous tenterons de dépeindre les dynamiques et jeux d'acteurs actuels en matière de séparation à la source pour permettre d'entrevoir des hypothèses de perspectives pour cette filière.

⁵ En partenariat avec Toulouse Biotechnology Institute, LEESU, SOLAGRO, LE SOMMER environnement, MEIKO et Toulouse Métropole. Projet financé par l'Agence Nationale pour la Recherche.

Chapitre I - Méthodologie de l'étude

1.1. Définition de l'objet d'étude

Le but de cette étude est de comprendre les dynamiques d'acteurs franciliens au sujet de la séparation à la source des excréments pour avoir une meilleure appréhension des perspectives possibles de ces filières. Pour cela, nous avons choisi d'effectuer une enquête qualitative s'appuyant principalement sur la collecte de retours d'expérience (REX), pour comprendre les jeux d'acteurs et les contextes favorables et défavorables à l'émergence de la séparation à la source ; et identifier les freins et leviers dans les divers projets de séparation à la source.

L'étude s'appuie au préalable sur une revue bibliographique composée d'articles scientifiques, de rapports et de thèses majoritairement produites par le LEESU.

Les parties prenantes sont composées d'une grande diversité d'acteurs en lien avec la séparation à la source, que l'on peut regrouper en deux catégories :

- **Les acteurs publics et institutionnels** (administrations publiques : directions régionales, agence de l'eau, établissements publics, collectivités locales, etc.) ;
- **Les acteurs privés** (bureaux d'étude, agences d'architecture, d'urbanisme et d'environnement, commanditaires privés, entreprises de traitement des urines, etc.).

Cela permet d'avoir une vue globale et transversale des différents types d'acteurs, leur positionnement et leurs motivations sur ce sujet.

Cette approche globale est représentée également par la diversité en termes de nature, de taille, et d'avancement des projets, depuis la collecte des excréments jusqu'à leur valorisation agricole. Les projets auxquels ces acteurs ont contribué concernent des types d'implantation différents, de petite taille (par exemple, l'installation de deux toilettes sèches dans un jardin recevant du public) à des projets de plus grande envergure (par exemple, des installations de toilettes séparatives à eau à l'échelle d'un quartier mixte). Il est intéressant de constater les répercussions de petits projets comme de plus grands. Les projets étudiés ont également été choisis en fonction de leur avancement pour avoir une meilleure connaissance des dynamiques existantes à chaque stade (à l'étude, en construction, en service, abandonné).

Dans cette étude, les projets de séparation à la source dans la sphère domestique ne sont pas traités, ceux-ci faisant déjà l'objet de travaux antérieurs, notamment du mémoire de Léa Weingart (2022), effectué au sein du programme OCAP.

1.2. Définition de la méthode d'enquête

Cette étude repose majoritairement sur des entretiens semi-directifs à réponse libre. Un guide d'entretien générique très succinct a été préparé en amont. Étant donné le large panel de profils interrogés, un guide d'entretien ne peut s'appliquer à tous les profils. Une grande liberté de parole a donc été accordée aux participants. Cela permet également la survenue de questions non prévues, de rebondir sur un autre sujet, pour finalement faire émerger davantage de pistes d'exploration pour notre analyse. Des entretiens exploratoires auprès des membres du programme OCAP ont également eu lieu en début de stage, pour compléter la compréhension de l'objet d'étude, en plus des ressources bibliographiques disponibles sur ce sujet. Ces entretiens concernent Marine Legrand, Léa Weingart, Fabien Esculier, Aurélie Joveniaux et Louise Raguet (Voir Tableau 1.1 ci-dessous).

Au total, 28 entretiens ont été menés. Chaque entretien s'est déroulé sur une durée allant de 30 minutes à 2 heures, puis a été retranscrit dans un compte rendu à des fins d'analyse des informations collectées. Le Tableau 1.1 représente la liste des acteurs interrogés pour cette étude. Tous les acteurs de cette liste sont entrés en contact avec le programme OCAP à un moment donné que ce soit pour un travail commun, un échange de documents de porter-à-connaissance ou pour un avis d'expert. Neuf autres entretiens ont été réalisés par un groupement de bureaux d'étude et de conseil composé de Pricewaterhouse Coopers (PwC), Solagro et Le Sommer Environnement (Voir Tableau 1.2) dont les comptes rendus m'ont été transmis. Ces entretiens d'acteurs institutionnels s'intègrent dans une étude sur les filières de la séparation à la source en région francilienne⁶, commandité par l'AESN. Pour éviter la sur-sollicitation des personnes interrogées, il m'a été préconisé de consulter les comptes rendus d'entretien plutôt que de mener un nouvel entretien puisque le sujet de celui-ci était similaire.

⁶ Cette étude a débuté en mars 2024 et prévoit d'être poursuivie jusqu'en 2025. Elle n'est donc pas publiée à ce jour. Toutefois, le suivi de l'étude fait partie des missions de ce stage depuis le mois de mai 2024.

Tableau 1.1 Liste des acteurs interrogés

Nom et Prénom	Structure	Poste	Date d'entretien	Mode d'entretien
LEGRAND Marine	Programme de recherche-action OCAPI	Chargée d'animation et de recherche	09/04/2024	Présentiel
DE CHAMBRIER David	Entreprise VunaNexus	Co-fondateur de l'entreprise	17/04/2024	Téléphone
WEINGART Léa	IPR (ex-stagiaire OCAPI)	Chargée d'étude	26/04/2024	Présentiel
ESCULIER Fabien	OCAPI	Co-fondateur et coordonnateur du programme OCAPI	29/04/2024	Présentiel
JOVENIAUX Aurélie	OCAPI et VDP	Chargée de recherche	02/05/2024	Visioconférence
RAGUET Louise	OCAPI	Designer et AMO	16/05/2024	Visioconférence
GREAU Ninon	Association Terre & Cité	ex-Chargée de mission	30/05/2024	Présentiel
LASSEUR Christophe	ESA	ex-Chef de projet MELiSSA	03/06/2024	Visioconférence
JAUNIAUX Laurent	ESA	Chef de projet du siège de l'ESA	04/06/2024	Visioconférence et visite du bâtiment
PRUVOST Jean-Pierre	AESN	Chargé d'opération spécialisé	05/06/2024	Visioconférence
YEMMOU Mohammed	Bureau d'étude Ingérop	Chef de service	06/06/2024	Visioconférence
MARLET Brice	Cueillette Urbaine	Responsable de la ferme	06/06/2024	Visioconférence
DEMOLIN Emilie	Mairie de Nanterre	Responsable du réseau d'assainissement	07/06/2024	Visioconférence

ROUX-CLADEN Clémentine	Mairie de Saint-Ouen	Chargée d'opération de construction	07/06/2024	Visioconférence
BESSON Mathilde	Bureau d'étude AIA Le Sommer Environnement, laboratoire de recherche TBI	Chargée d'innovation et de recherche	10/06/2024	Présentiel
DION Christophe	Chambre d'Agriculture IDF	Chef de service agronomie conseil innovation	13/06/2024	Visioconférence
GAUCHERAND DE ROCHAS Paul	Bureau d'étude environnement Zefco	Chargé de projet	13/06/2024	Visioconférence
ANDREASSIAN Alexandre	Agence d'architecture Atelier de la Seine	Architecte	14/06/2024	Visioconférence
JACOTEY Loïe	Agence d'urbanisme, d'architecture et environnement LAQ	Paysagiste-urbaniste	20/06/2024	Visioconférence
VERNIER Timothée	Campus de la Transition	Jardinier	21/06/2024	Visioconférence
BESANCON Manon	CAUE 75	Cheffe de projet	21/06/2024	Visioconférence
FAUCON Thibaut	ADEME	Responsable du programme Transition systémique®	25/06/2024	Visioconférence
AFRIT Bilel	CEREMA, ex- SIAAP, ex-DRIEE	Chef adjoint du groupe "Eaux et Risques" et Directeur de projets Eaux (CEREMA), ex-Chargé de mission politique de l'eau (SIAAP), ex-Chargé de mission "Planification Eau et Assainissement" (DRIEE)	26/06/2024	Visioconférence

BEL Nicolas	Entreprises Topager et Evoloop	Fondateur et AMO	28/06/2024	Visioconférence
MERCIER Ghislain	BNP Real Estate, ex-P&MA ex-EPAPS (aménageurs publics)	Directeur de la transformation écologique - immobilier/promotion	03/07/2024	Visioconférence
PICARD Charlotte	Mairie de Rosny-sous-Bois	Architecte Chargée de mission	04/07/2024	Présentiel et visite des bâtiments
LEPERS Félix	FNAB	Chargé de la réglementation et des politiques publiques	26/07/2024	Visioconférence
GAUCHER Louis	EPAPS	Chef de projet construction et ville durable	30/07/2024	Visioconférence

Tableau 1.2 Liste des acteurs interrogés par PwC, Solagro et Le Sommer Environnement

Nom et Prénom	Structure	Poste	Date d'entretien
PRUVOST-BOUVATIER Manuel	IPR	Chargé d'étude environnement	13/05/2024
COLLET Gilles GENTON Benjamin	DRIAAP	Ingénieur général de bassin Directeur adjoint	14/05/2024
JOVENIAUX Aurélie ROMONT Sabine SAGEOT Mathilde	OCAPI et VDP VDP VDP	Chargée de recherche Direction de la transition écologique et climat Service technique eau et assainissement	14/05/2024
GAUCHER Louis	EPAPS	Chef de projet construction et ville	15/05/2024

		durable	
DION Christophe	Chambre d'Agriculture IDF	Chef de service agronomie conseil innovation	16/05/2024
POULAIN Cécile	BESEC	Chargée de mission économie circulaire	24/05/2024
BEYELER Claire	MGP	Cheffe de service GEMAPI	24/05/2024
DUPERRIER Charly	DRIEAT	Chargé de mission Animation régionale Assainissement et gestion des eaux	28/05/2024
SAJUS Pascale	SIAAP	Direction des études stratégiques	13/06/2024

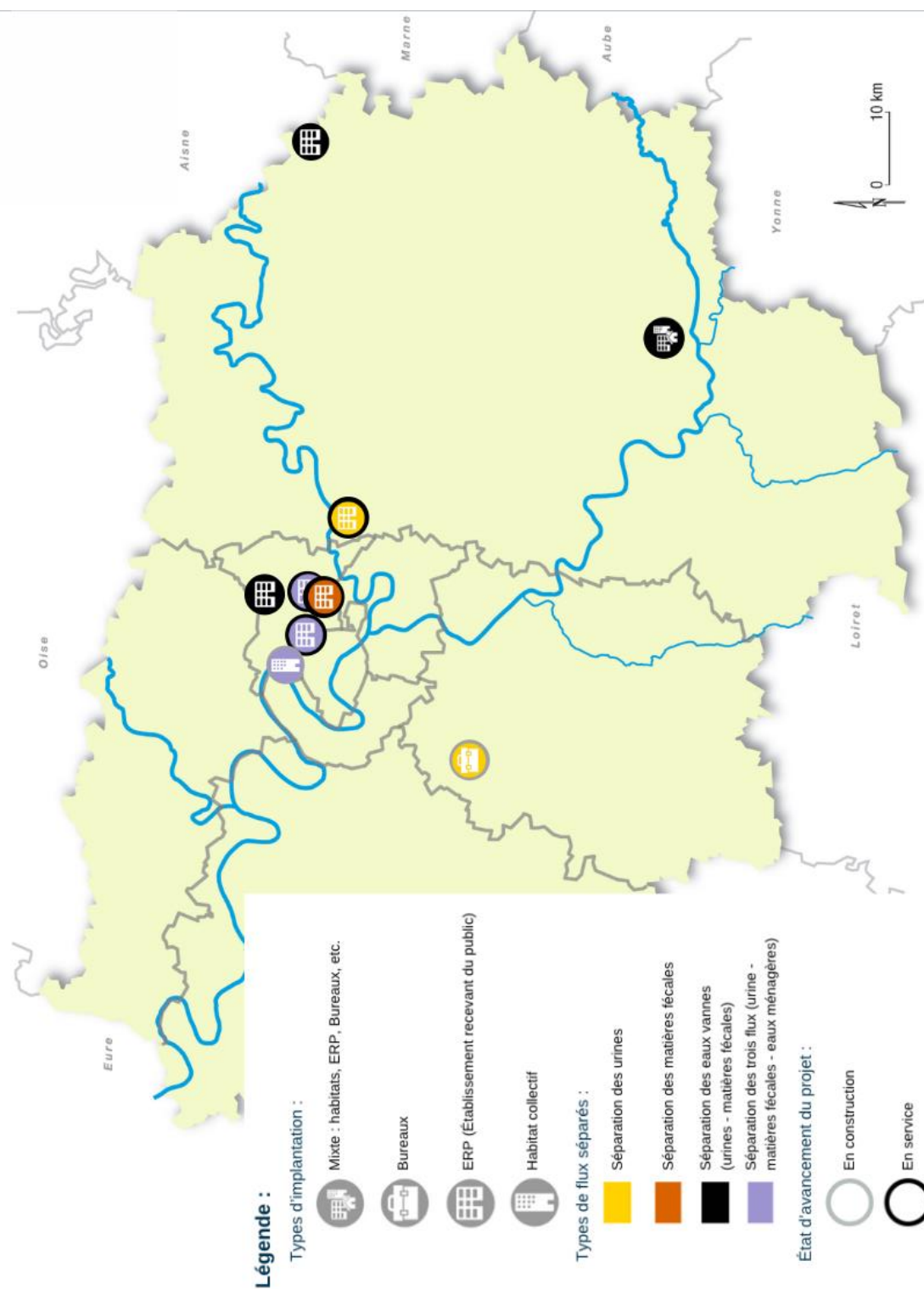
1.3. Limites et biais de l'enquête

La répartition des acteurs n'est pas équilibrée. En effet, étant donné l'état actuel des filières en émergence, avec majoritairement des projets démonstrateurs, il y a plus d'acteurs disponibles en amont ou en début de filières (étude, construction, collecte) qu'en fin de filières (débouchés et valorisation).

Chapitre II - Les dynamiques franciliennes sur la séparation à la source

2.1. Les projets actuels de séparation à la source en Île-de-France

Carte 1. Carte des projets de séparation à la source en Île-de-France, hors Paris



Carte 2. Carte des projets de séparation à la source à Paris

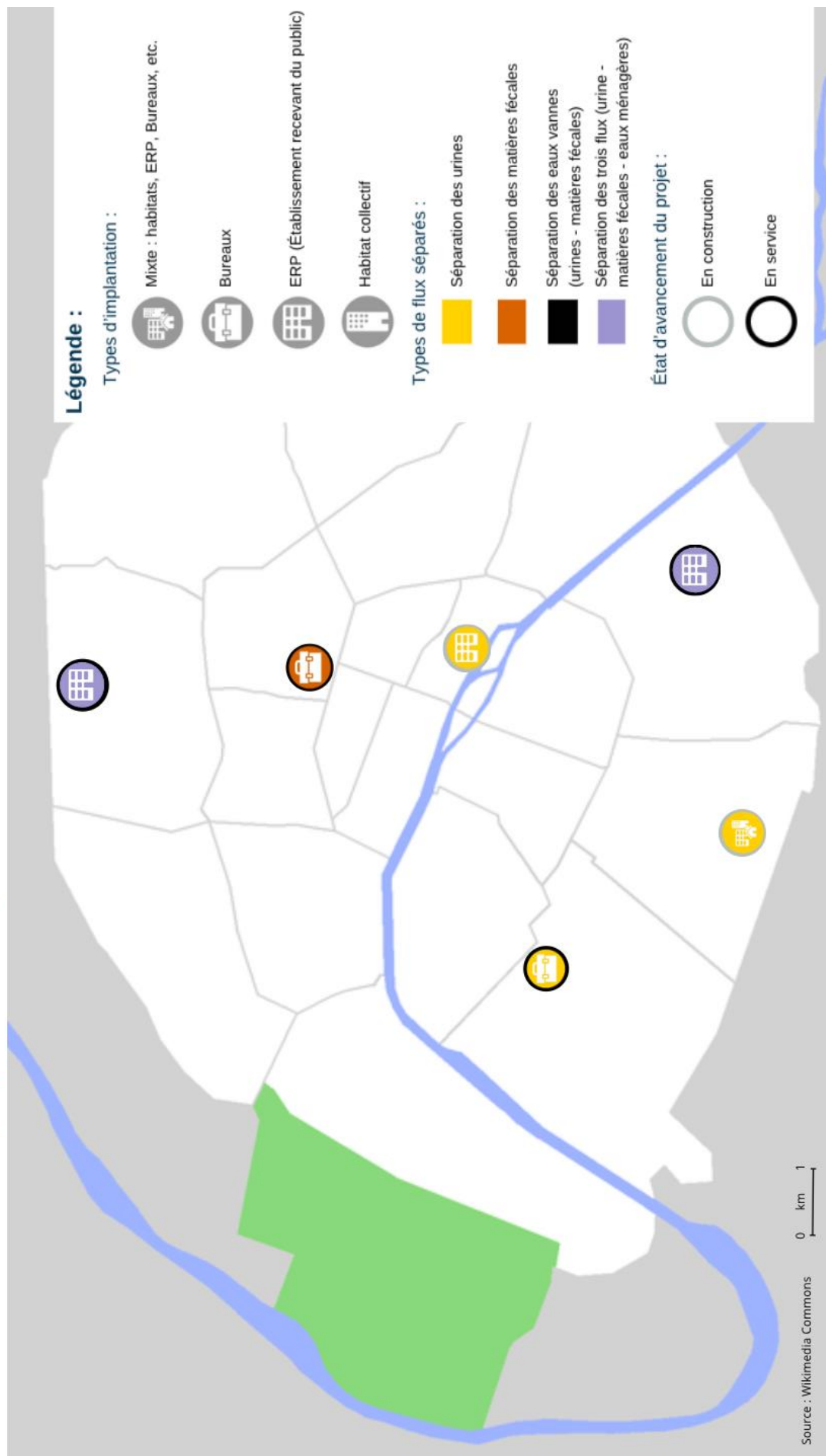


Tableau 2. Liste des projets de séparation à la source en Île-de-France

Type d'implantation	Etat d'avancement	Type de séparation	Département	Commune	Lieu	Valorisation
Mixte	A l'étude	Séparation des urines	77	Forges	Campus de la transition	oui (projection)
Mixte	A l'étude	ne savent pas encore	94	Villejuif	ZAC Campus Grand Parc	oui (projection)
Mixte	A l'étude	Séparation des urines	94	Neuilly-sur-Marne	ZAC Maison Blanche	oui (projection)
ERP	A l'étude	Séparation des urines	91	Gif-sur-Yvette	ENS Paris-Saclay	oui (projection)
Bureaux	A l'étude	Séparation des urines	75	Paris 15e	EDA Quai d'Issy	oui (projection)
Mixte	A l'étude	Séparation des urines	91	Orsay	ZAC de Corbeville	oui (projection)
Mixte	En construction	Séparation des urines	75	Paris 14e	ZAC de l'écoquartier de Saint-Vincent-de-Paul	oui (projection)
ERP	En construction	Séparation des urines	75	Paris 4e	Académie du Climat	oui (projection)
Habitat collectif	En construction	Séparation des trois flux	93	Saint-Ouen sur Seine	Quinconces du village olympique	oui (projection)
Espace public	En service	Séparation des urines et matières fécales	93	Aulnay-sous-Bois	Parc du Sausset	non
ERP	En service	Séparation des urines et matières fécales	75	Paris 18e	La Recyclerie	non
ERP (transitoire)	En service	Séparation des urines et matières fécales	93	Pantin	La Cité Fertile	oui
ERP	En service	Séparation des excréments	75	Paris 13e	Ecole primaire Jeanne d'Arc	non
ERP	En service	Séparation des matières fécales	93	Rosny-sous-Bois	Centre de Loisir Jacques Chirac	non
Bureaux	En service	Séparation des matières	75	Paris 11e	Fondation pour le	non

		fécales			progrès de l'Homme	
ERP (démonstrateur)	En service	Séparation des urines	77	Champs-sur-Marne	Azuris (Coriolis ENPC)	oui
Bureaux	En service	Séparation des urines	75	Paris 15e	Siège de l'Agence Spatiale Européenne	oui
Mixte	En service	Séparation des excréments	77	Forges	Campus de la transition	oui
ERP	En service	Séparation des trois flux	93	Rosny-sous-Bois	Groupe scolaire Simone Veil	oui (projection)
ERP	En service	Séparation des excréments	77	Verdelot	Jardin le point du Jour	oui
Bureaux	En service (fini mais pas habité)	Séparation des urines	91	Palaiseau	ZAC Polytechnique Lot C1.5B	oui (projection)

Ce recensement a pour objectif de fournir une vue d'ensemble des initiatives des projets de séparation à la source en Île-de-France.

Les projets recensés sont relativement peu nombreux à ce jour, cela peut s'expliquer par le caractère innovant et disruptif de cette approche, qui nécessite de passer par plusieurs phases avant l'acceptation à plus large échelle. Ils sont surtout concentrés dans Paris et en périphérie de la capitale, là où la densité de population est plus importante. La majorité des projets en service trouvent une voie de valorisation, et la totalité des projets à l'étude et en construction prévoient de valoriser les excréments séparés à la source.

Les acteurs à l'initiative de ces projets ont des profils multiples. Les initiatives publiques peuvent provenir d'aménageurs publics ou encore des collectivités locales. A l'échelle communale, ils sont parfois portés par les architectes intégrés aux services municipaux. Les initiatives privées sont portées par différents types d'acteurs, tels que des entreprises tournées vers la création de tiers-lieux, des associations propriétaires de leurs locaux.

Toutefois, les initiatives peuvent être suggérées aux porteurs de projets par des associations ou des chercheurs. Des bureaux d'études peuvent aussi se positionner comme promoteurs du sujet, tels que des agences d'architecture orientées vers la conception écologique et durable. Ces acteurs jouent un rôle tout aussi important dans l'existence de ces projets.

2.2. Des projets pilotes démonstrateurs de la transition écologique et sociale

La séparation à la source s'inscrit dans une dynamique générale, où se développe en parallèle le compostage de biodéchets et l'économie circulaire, dans un contexte de prise de conscience collective de l'ampleur des enjeux écologiques et sociaux. Du point de vue de la fabrique de la ville plus spécifiquement, c'est une occasion pour les acteurs de l'aménagement urbain d'en faire une vitrine du savoir-faire en matière de transition écologique. Selon Larsen *et al.* (2021), l'évolution de la séparation à la source, se distingue en trois phases de développement :

- Phase 1 : Innovation locale dans les éco-villages et les projets de recherche ;
- Phase 2 : Validation locale dans les projets de démonstration dans différents pays ;
- Phase 3 : Décollage de la diffusion mondiale.

En Île-de-France, le développement du sujet en est à la phase 2 (Joveniaux *et al.*, 2022). Les projets actuels sont des projets pilotes en attente de retour d'expérience. La volonté d'un déploiement à plus grande échelle est pourtant présente chez certains acteurs. Par exemple, l'AESN a commandé une étude à partir de mars 2024 pour déterminer les conditions de viabilité technico-économique d'un déploiement massif de la séparation à la source de l'urine sur l'ensemble de la Région Ile-de-France, en vue de proposer un plan d'action à l'issue de cette étude, qui prendra fin en 2025.

En Île-de-France, les projets pilotes de séparation à la source se multiplient depuis une quinzaine d'années et leur échelle s'agrandit. À titre d'exemple, nous aborderons trois projets pilotes particulièrement étudiés durant ce stage :

- 1) Le bâtiment du siège de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) (Paris 15^e) ;
- 2) L'écoquartier de Saint-Vincent-de-Paul (SVDP) (Paris 14^e) ;
- 3) Le lot C1.5B de la ZAC de Polytechnique et la ZAC de Corbeville sur le Plateau de Saclay (Saclay).

Ces trois projets n'ont pas été choisis au hasard. Ils ont été étudiés pour les caractéristiques suivantes :

- Une taille critique minimale de l'échelle d'un immeuble⁷ ;
- Le stade d'avancement différent entre les trois projets ;
- Les différents débouchés de ces trois projets ;
- Le niveau d'implication du programme OCAPI dans ces projets, et donc la facilité pour collecter des informations et des témoignages des parties prenantes.

2.2.1. Le siège de l'Agence spatiale européenne



Figure 2. Façade du siège de l'ESA. (Crédit Photo : Kelly CAN)

⁷Pour bénéficier d'un financement de l'AESN, il faut justifier d'une taille critique au moins équivalente à un immeuble, même si l'échelle n'a pas précisément été définie. Il est donc intéressant pour cette étude de s'appuyer sur des REX de projets s'inscrivant dans la phase 2 de développement.

Localisation : Paris 15e arrondissement

État d'avancement : En service

Type d'implantation : Immeuble de bureaux

Type de séparation à la source : Séparation de l'urine, avec 53 toilettes séparatives à eau et 21 urinoirs secs masculins

Objectif principal : Démonstration du savoir-faire de l'ESA pour la recherche spatiale utile sur Terre

Filières de traitement et valorisation : Collecte, stockage et traitement in situ, piloté à distance par VunaNexus, puis vente de l'engrais Aurin®.



Figure 3. Une bouteille d'engrais Aurin®. (Source : Vuna)

Selon Christophe Lasseur, ancien chef du projet MELiSSA, le projet de séparation et de valorisation de l'urine à l'ESA prend ses origines dans le projet MELiSSA, qui étudie comment transformer un support de vie clos, tel qu'un vaisseau spatial, en un écosystème fermé auto-entretenu. Le recyclage intensif est étudié, soit comment prendre tous les déchets et essayer de reconstruire tous les consommables principaux (eau, nourriture, oxygène). Dans ce contexte, le projet étudie le recyclage de l'urine en eau et en nutriments pour fertiliser les cultures présentes sur un vaisseau spatial. Cette technologie novatrice qu'est la récupération des nutriments à partir de l'urine est mise en avant dans la vitrine du savoir-faire des technologies

de l'ESA, au siège de l'agence. Le projet est choisi en partie pour sa pertinence en termes d'économie circulaire.

Le bâtiment est en service depuis mars 2023. Laurent Jauniaux, chef du projet de ce bâtiment de l'ESA estime obtenir les premiers échantillons d'urinofertilisant sous la marque suisse Aurin®, un engrais stabilisé par nitrification des urines puis concentré, d'ici l'automne 2024. Ce projet est constamment observé par divers acteurs notamment de la recherche, de l'aménagement et par des entreprises d'urinofertilisant.

Selon Laurent Jauniaux de L'ESA et David de Chambrier de l'entreprise VunaNexus, il est projeté de rentabiliser les coûts d'investissements relatif au projet de collecte et de valorisation de l'urine du bâtiment par la seule vente de l'engrais Aurin® localement, auprès de la Ville et des pépiniéristes locaux, sur une durée de 10 à 15 ans à partir de près de 60 m³ d'urine traitée par an.

2.2.2. L'écoquartier Saint-Vincent-de-Paul



Figure 4. Projection du futur écoquartier SVDP. (Source : Ville de Paris)

Localisation : Paris 14e arrondissement

État d'avancement : En construction

Type d'implantation : Quartier résidentiel et mixte

Type de séparation à la source : Séparation à la source des urines, avec 1050 toilettes séparatives à eau et 30 urinoirs secs

Objectif principal : Dans le cadre d'une démarche globale d'écoquartier démonstrateur de la transition écologique et sociale, expérimenter la collecte et valorisation des urines à l'échelle d'un quartier entier, avec pour objectif de voir si un tel projet fonctionne et est répliquable en d'autres lieux.

Filières de traitement et valorisation : Collecte et transport via un réseau séparatif de collecte des urines et traitement in situ par un procédé de concentration tel que le procédé de VunaNexus, puis vente de l'engrais produit.

Selon Aurélie Joveniaux, chargée de recherche chez OCAPI et à la VdP, et Louise Raguét, designer chez OCAPI et AMO sur le projet de SVDP, la ZAC de SVDP a pour objectif de construire un écoquartier démonstrateur de la transition écologique et sociale de la Ville de Paris. La collecte séparative des urines à des fins de valorisation est prévue sur l'ensemble de ce quartier mixte prévoyant jusqu'à 700 m³ d'urine collectée par an, dans un objectif d'expérimentation d'une pratique permettant de répondre à des enjeux de protection des milieux aquatiques et de production d'engrais locaux et renouvelables, à la différence des engrais de synthèse pétrosourcés. Ce projet constitue par la même occasion la première expérimentation en France, voire mondiale, d'un réseau de collecte d'urine à l'échelle d'un quartier.

La Ville de Paris, propriétaire de l'usine de traitement des urines à SVDP, utilisera l'engrais concentré produit à SVDP en interne au sein de son Centre de production horticole (CPH) à Rungis, et également sans doute sur des pelouses de la Ville.

2.2.3. Le Plateau de Saclay



Figure 5. Le NEXT (Lot C1.5B). (Source : EPAPS)

Localisation : Palaiseau (Essone)

État d'avancement : Bâtiment livré, en service à partir de septembre 2024

Type d'implantation : Immeuble de bureaux et restaurant universitaire

Type de séparation à la source : Séparation à la source des urines, avec 10 urinoirs secs

Objectif principal : Projet pilote de collecte et de valorisation des urines

Filières de traitement et valorisation : Traitement par le procédé pitribon⁸ avec stockage en pied d'immeuble, puis pompage semestriel par un agriculteur du plateau de Saclay et premiers épandages prévus en 2025.

⁸ Stabilisation de l'urine sur un filtre aéré sur charbon végétal abritant un écosystème microbien.



Figure 6. Projet de la ZAC de Corbeville. (Source : EPAPS)

Localisation : Orsay et Saclay (Essonne)

État d'avancement : À l'étude

Type d'implantation : Quartier mixte

Type de séparation à la source : Séparation à la source des urines

Objectif principal : Démonstrateur de la ville durable

Filières de traitement et valorisation : Non déterminés

Selon Louis Gaucher, chef de projet construction et ville durable à l'EPAPS, l'établissement a pour rôle d'aménager le territoire du plateau de Saclay pour un intérêt national. Créé en 2010 en même temps que le projet du Grand Paris, l'EPAPS a pour objectif d'aménager des quartiers mixtes proches des gares et connectés par la ligne de métro 18.

Pour le Lot C1.5B, l'urine brute est traitée et stockée au pied de l'immeuble. La quantité estimée d'urine à collecter est faible, de l'ordre de 16 m³ par an, qui sera pompé deux fois par

an par l'agriculteur de grande culture Emmanuel Laureau de la ferme de la Martinière, située à Saclay. L'urine est ici rendue disponible gratuitement à l'agriculteur, avec un objectif d'expérimentation.

Concernant la ZAC de Corbeville, le déploiement de la séparation à la source des urines reste à construire. Le nombre de toilettes séparatives n'est pas encore décidé, toutefois, il est prévu que la ZAC reçoive près de 20 000 usagers et produise environ 10 000 m³ d'urine par an, soit plus de dix fois plus que l'écoquartier SVDP. Le modèle de toilettes ainsi que le dispositif de traitement n'ont pas encore été choisis, mais Louis Gaucher témoigne qu'à l'heure actuelle, les toilettes séparatives à chasse d'eau telles que le modèle Save! de Laufen semblent les plus prometteuses et que le dispositif de traitement de VunaNexus a beaucoup été étudié. L'EPAPS étudie les scénarios de débouchés avec l'entreprise VunaNexus. Aujourd'hui l'enjeu tourne autour de la concentration ou non de l'urine, l'idée étant de d'acheminer les urines vers une ou plusieurs stations de traitement pour faire un engrais commercialisable. Toutefois, au vu du prix de l'engrais vendu actuellement, les coûts liés à la séparation des urines sont loin d'être couverts. L'EPA estime que si l'urine est vendue aujourd'hui au même prix et à la même concentration en nutriments que les engrais de synthèse, les recettes s'élèveront à 42 000 euros par an, tandis que les coûts d'exploitation seront de 250 000 euros par an. Contrairement au débouché de la ZAC de SVDP, à Corbeville, le contexte agricole ne bénéficie pas des mêmes débouchés économiques qu'à Paris, en raison des économies d'échelles qui existent pour les engrais agricoles sur le territoire du plateau de Saclay.

2.3. Une entrée en matière diversifiée

L'origine de l'intérêt pour la séparation à la source et les motivations derrière chaque projet sont multiples. En effet, la séparation à la source touche plusieurs enjeux environnementaux et sociaux. Chaque acteur, de par son domaine de compétence, n'éprouve pas les mêmes sensibilités vis-à-vis de ces enjeux. Pourtant, malgré une entrée en matière diverse, ils se regroupent autour d'une même préoccupation, celle d'une transition écologique. Parmi les différents intérêts qui motivent les acteurs de la séparation à la source nous pouvons citer : les émissions de carbone et la consommation énergétique, la limite des systèmes d'assainissement urbain, la pollution de l'eau et l'économie d'eau potable, tisser des liens entre les milieux urbains et ruraux, et une volonté de souveraineté alimentaire.

2.3.1. Les émissions de carbone : une préoccupation des acteurs institutionnels

Une entrée en matière possible pour le sujet de la séparation à la source concerne les réductions d'émissions de carbone et la consommation énergétique. Cependant, elle est loin d'être une entrée en matière courante chez les personnes interrogées dans cette étude. Le sujet de la réduction de carbone s'est retrouvé néanmoins chez des acteurs institutionnels.

« Notre entrée en matière se fait par le biais des engrais décarbonés, mais on voit aussi l'impact systémique, multidimensionnel. » Thibaut Faucon - ADEME (Entretien du 25/06/2024).

« Ça fait quelques années qu'à l'AESN on intègre dans nos programmes d'action une stratégie d'adaptation au changement climatique et de réduction de GES, la séparation à la source correspond bien à cette politique. » Jean-Pierre Pruvost - AESN (Entretien du 05/06/2024).

Comme en témoignent ces acteurs publics institutionnels, la réduction de GES est une préoccupation primordiale. Les acteurs institutionnels ne sont toutefois pas les seuls à s'intéresser à ce sujet. Durant les entretiens menés, Paul Gaucherand de Rochas, chargé de projet au bureau d'étude ZEFCO, témoigne également de son intérêt pour la réduction de GES, qui constitue une pierre angulaire des travaux de ZEFCO.

« À ZEFCO, on s'intéresse aux projets alternatifs, en lisant la presse spécialisée. À Paris j'ai connu le projet des Grands Voisins⁹, avec les urinoirs féminins, et je me suis rendu compte qu'en fait c'était pas plus compliqué d'installer des toilettes alternatives. [...] J'ai rencontré Marine [Legrand] pour le côté recherche sur le carbone, filière biosourcée, compost, et urine. [...] Mon entrée en matière se fait via la question de l'empreinte carbone de la destruction des nutriments dans les excréments et la fabrication d'engrais. » Paul Gaucherand de Rochas - ZEFCO (Entretien du 13/06/2024).

L'intérêt de ZEFCO pour l'aspect réduction des GES n'est pas dénué de lien avec la demande des institutions publiques, comme Paul Gaucherand de Rochas en témoigne par la suite :

⁹ Projet d'urbanisme transitoire qui a laissé la place à la construction de la ZAC de SVDP depuis 2020.

« Parfois on est aux services d'acteurs publics, on consulte parfois avec le Ministère de la transition écologique, mais surtout on travaille avec les aménageurs publics. Avec le Programme CAP 2030¹⁰, plusieurs groupes de travail ont été montés, notamment sur la neutralité carbone et la biodiversité. ». (Entretien du 29/04/2024).

Cet intérêt commun des acteurs institutionnels pour la transition décarbonée pourrait avoir pour origine commune leur travail et leurs connaissances en matière d'objectif de baisse d'émissions carbone. En effet, la France a pour objectif national à l'horizon 2030 de réduire d'au moins 40 % les émissions de GES par rapport à 1990, tous secteurs confondus (Ministère de la transition écologique, 2024). Il n'est donc pas étonnant que des agences nationales et régionales telles que l'ADEME et l'AESN s'intéressent au volet énergétique et réduction de GES de la séparation à la source.

2.3.2. La limite des systèmes d'assainissement urbain

Les systèmes d'assainissement urbains détruisent certes l'azote et le phosphore des eaux usées, mais pas totalement.

« On se rend compte que la STEP de Forges est sous dimensionnée, donc en cas de grande pluie ça déborde sur les cours d'eau, les berges. Le Campus représente environ 10% des eaux à traiter du village. On a un réel impact. » Timothée Vernier - Campus de la Transition (Entretien du 21/06/2024).

Régulièrement, les STEP sous-dimensionnées et réseaux d'égouts saturés débordent, via des déversoirs qui redirigent ce trop-plein vers les cours d'eau. Les polluants présents dans l'eau non traitée s'y retrouvent : azote, phosphore, carbone, microorganismes pathogènes, micropolluants, etc. (Legrand, Esculier et Tabuchi, 2021).

À l'heure actuelle, le SIAAP¹¹ reste relativement en retrait des projets de séparation à la source, mais considère que si l'abattement en azote est de l'ordre de 10% à 15% grâce à la séparation

¹⁰ Projet porté par le ministère de l'écologie dans le cadre du plan Bâtiment Durable : <https://www.planbatimentdurable.developpement-durable.gouv.fr/cap-2030-r354.html>

¹¹ Lors de l'entretien du SIAAP avec PwC, Solagro et Le Sommer Environnement.

à la source des urines notamment, il n'est pas exclu que le SIAAP subventionne des projets de séparation des urines.

Fabien Esculier m'explique qu'en 2007, il entreprend son projet de fin d'étude sur la gestion cyclique des déchets des eaux usées. Il travaille alors en bureau d'étude en assainissement. À ce moment-là, il étudie les limites de soutenabilité des systèmes d'assainissement urbain.

Ghislain Mercier, aujourd'hui directeur de la transformation écologique chez BNP Paribas Real Estate, me confie que sa connaissance de la séparation à la source vient « *de la même trajectoire que Fabien [Esculier], soit une insoutenabilité du système d'assainissement, du cycle azote et phosphore.* ».

Pour Timothée Vernier, Fabien Esculier et Ghislain Mercier, cette insoutenabilité des systèmes d'assainissement urbain les motive en partie à œuvrer dans la recherche ou dans des projets de séparation à la source des urines.

2.3.3. L'économie d'eau potable et la pollution de l'eau

Au-delà de la question des limites des systèmes d'assainissement centralisé pour traiter l'azote, la question de l'utilisation de l'eau potable pour tirer la chasse est également mise en avant.

« À l'origine, j'étais très sensible au fait qu'on utilise de l'eau potable dans les toilettes puis j'ai compris qu'il y avait en plus le problème de pollution des urines dans les cours d'eau. [...] J'avais écouté une émission de la Terre au Carré à la radio sur les toilettes sèches. Quand j'ai commencé à travailler sur la végétalisation des cours [d'écoles], j'ai tenu à proposer ça [la séparation à la source] dans les projets. » Alexandre Andréassian - Architecte (Entretien du 20/06/2024).

L'architecte Manon Besançon, quant à elle, travaille notamment au développement de nouveaux types de sanitaires dans les écoles parisiennes. Elle met en avant les enjeux liés à l'eau potable :

« Les enfants, quand on leur dit que c'est de l'eau potable dans la chasse d'eau, ils sont choqués, ils ont envie de trouver des solutions. Ils veulent être acteurs de ces sujets-là, ils ont envie de changer. » Manon Besançon - CAUE 75 (Entretien du 21/06/2024).

Le gaspillage d'eau potable dans la chasse d'eau des toilettes est pour elle une entrée en matière tout à fait sensée et abordable même chez les tout-petits. D'ailleurs il n'est pas rare de voir des slogans ou des articles journalistiques proposant d'uriner sous la douche pour sauver la planète¹² tout en vantant la pratique comme un geste écoresponsable à la portée de tous, pour éviter les litres d'eau potable gâchés. On peut néanmoins souligner une limite à cette alternative à la miction aux toilettes. En effet, l'issue reste la même : que l'on appuie sur le bouton de la chasse d'eau ou que l'on regarde s'écouler le flux d'urine dans le drain de la douche, une fois hors de notre vue, les urines se retrouvent dans le réseau du tout-à-l'égout et polluent par leurs concentrations en azote et en phosphore. Pour cette raison, comprendre l'intérêt de la séparation à la source par le biais du gaspillage de l'eau potable, permet de ne pas s'arrêter à une solution superficielle comme la miction sous la douche, mais de s'intéresser également à la pollution des milieux aquatiques.

Pour l'entreprise VunaNexus¹³, l'objectif premier est d'enlever le plus d'azote possible dans les eaux usées, car les STEP n'arrivent à retirer qu'une partie de l'azote présent, selon David de Chambrier. Le reste finit dans les cours d'eau ou dans l'air.

« Chaque kilo d'azote qu'on arrive à récupérer dans les urines et qui ne finit pas dans une rivière, on est content. Vraiment, c'est remplacer le plus de kilos d'azote synthétique par de l'azote recyclé, c'est notre objectif premier. » David de Chambrier - VunaNexus (Entretien du 17/04/2024).

En effet, la pollution par l'azote entraîne des phénomènes d'eutrophisation. Ce déséquilibre des milieux aquatiques entraîne également, à terme, la perte de biodiversité. De plus, le changement climatique accentue ce phénomène. C'est notamment un argument soulevé par l'Institut Paris Région. L'IPR souligne qu'une de leur "grosse motivation" serait la diminution de la pollution du milieu aquatique. Ils souhaitent également éviter le recours à l'eau potable dans la chasse.

« Au niveau de la prospective, on est de plus en plus sensible à la question de la température. La qualité de l'eau sera peut-être plus un problème plus urgent que la

¹² Par exemple : S.Bascot (2022). Faites pipi sous la douche pour sauver la planète.
<https://www.consoglobe.com/pipi-sous-la-douche-planete-cg>

¹³ VunaNexus est une entreprise Suisse spin-off de l'institut de recherche Suisse sur l'eau EAWAG, qui a pour compétence l'aspect opérationnel de traitement des urines en vue de sa valorisation en urino-fertilisant. VunaNexus travaille notamment sur les projets de l'écoquartier SVDP et du siège de l'ESA.

quantité. Si la ressource superficielle dépasse les températures critiques (25°C pour la potabilité et 28° pour la qualité des milieux), on constatera une forte tension supplémentaire. L'usage de l'eau pour les chasses d'eau devient ainsi particulièrement critique. » Manuel Pruvost-Bouvattier - IPR (Entretien du 13/05/2024 par le groupement par PwC, Solagro et Le Sommer Environnement).

À l'Agence Spatiale Européenne (ESA), suite à un appel à projet pour rebâtir le siège de l'ESA à Paris, la séparation à la source a été retenue.

« Ce projet a des retombées importantes pour la vie sur Terre. C'est un REX sur Terre qui a beaucoup de sens, surtout dans les pays ou les régions avec une précarité hydrique, un stress hydrique, car non seulement on arrive à avoir un fertilisant mais également de l'eau pour le système. On a d'autre part, une réduction d'impact tant sur l'impact des écosystèmes par le traitement des eaux polluées et des eaux de sources. Il y a une grande proportion d'eau potable consommée dans la chasse d'eau, on peut utiliser l'eau issue du recyclage des urines. Il y a de multiples intérêts à ce projet, c'est pour cela que l'ESA a investi dedans. » Laurent Jauniaux - ESA (Entretien du 04/06/2024).

Économie d'eau potable et pollution des milieux aquatiques vont donc de pair. Comme exprimé dans ces témoignages, les impacts des changements climatiques vont rendre le gaspillage de l'eau et la pollution des eaux encore plus insoutenables écologiquement. C'est une entrée en matière qui justifie pleinement la pertinence de la séparation à la source comme un outil de transition écologique.

2.3.4. Tisser des liens entre les milieux urbains et ruraux

Parallèlement aux enjeux environnementaux, la séparation à la source permet d'interroger l'interaction entre le milieu urbain et le milieu rural.

Sur le plateau de Saclay, l'établissement public d'aménagement public de Paris-Saclay (EPAPS) prévoit sur la ZAC de Corbeville la séparation à la source sur toute la ZAC, avec une valorisation sur les terres agricoles du plateau.

« Avec l'opportunité [du financement] de France 2030, on peut étendre la réflexion à une échelle de quartier (Corbeville) pour contribuer au développement d'une filière sur le territoire. On veut montrer la complémentarité entre l'espace urbain et agricole et montrer que l'espace urbain peut être producteur de ressources pour l'espace agricole. » Louis Gaucher - EPAPS (entretien du 30/07/2024).

À Terre et Cité, conserver un lien entre milieux urbains et ruraux fait partie des missions premières de l'association.

« Terre et Cité est une association d'animation territoriale et de protection des terres agricoles sur le plateau de Saclay. Elle a été créée en 2001 par des agriculteurs sur le plateau pour faire face à l'urbanisation croissante des terres et de façon à se coordonner entre agriculteurs pour préserver leur travail et leurs espaces, et avec les élus du territoire (un collège des élus), un collège de la société civile, les enseignements du supérieur, lycées et écoles qui le souhaitent, et un collège des associations. Ces quatre instances se regroupent souvent pour discuter des projets de Terre et Cité et de ce qu'ils imaginent pour leur devenir. L'idée de Terre et Cité est d'avoir un dialogue permanent entre tous ces acteurs qui ont parfois des intérêts divergents et de ne jamais avoir de rupture de relation, en considérant comme objectif commun de protéger l'agriculture du plateau, de développer les circuits courts, l'alimentation locale et d'accompagner les acteurs à la fois face à l'urbanisation et à l'accaparement parfois de leurs terres, et face à la transition écologique et alimentaire, mais pour lesquelles ils savent qu'il y a une adaptation des pratiques qui est nécessaire. » Ninon Gréau, ancienne chargée de mission à Terre et Cité (Entretien du 30/05/2024).

Le métabolisme urbain linéaire d'aujourd'hui, avec un cycle des nutriments rompu et une séparation entre l'alimentation et l'excrétion humaines, contribue à rompre les liens entre la campagne, productrice d'alimentation, et la ville, qui excrète densément. Nous pouvons alors penser que la séparation à la source - surtout dans un territoire comme le plateau de Saclay, mêlant innovation urbaine, pôle de recherche et d'enseignement et agriculture - a tout à fait sa place pour créer le dialogue entre les différents acteurs du territoire, et potentiellement créer des échanges pérennes entre ceux qui produisent la nourriture et ceux qui la consomment et qui en retour produisent de l'azote quotidiennement par leurs excréments.

2.3.5. Une volonté de souveraineté alimentaire

En 2022, les cultivateurs français voient le prix des engrais s'envoler à environ quatre fois son prix antérieur. L'agriculture française étant totalement dépendante des importations d'engrais de synthèse depuis l'étranger, dont le quart provenant de la Russie, le conflit russo-ukrainien provoque une crise de l'énergie gazière et des engrais azotés.

« La crise énergétique a changé la donne au niveau économique, lorsque les prix de l'azote sont multipliés, les rapports s'inversent. » Christophe Dion - Chambre d'agriculture IDF (Entretien du 13/06/2024).

Selon lui, reprendre en main la production d'engrais sur le territoire permettrait de s'affranchir en partie des risques liés à la dépendance aux échanges mondiaux. Pour les agriculteurs et les acteurs du monde agricole, l'urine collectée par une séparation à la source est une alternative intéressante aux engrais importés, car en effet, elle est riche en nutriments pour les plantes, disponible partout et tout le temps puisque tous les humains urinent.

Par ailleurs, Billen *et al.* (2021) estiment que sans changer les pratiques agricoles actuelles en France, 20% des engrais de synthèse pourraient être remplacés par des urino-fertilisants issus de la séparation à la source.

2.4. Une dynamique fortement orientée vers la séparation des urines

Actuellement, plus de la moitié des projets de séparation à la source recensés qui ont lieu ou qui sont à l'étude en Île-de-France et qui ont un débouché de valorisation, concernent des projets de séparation des urines.

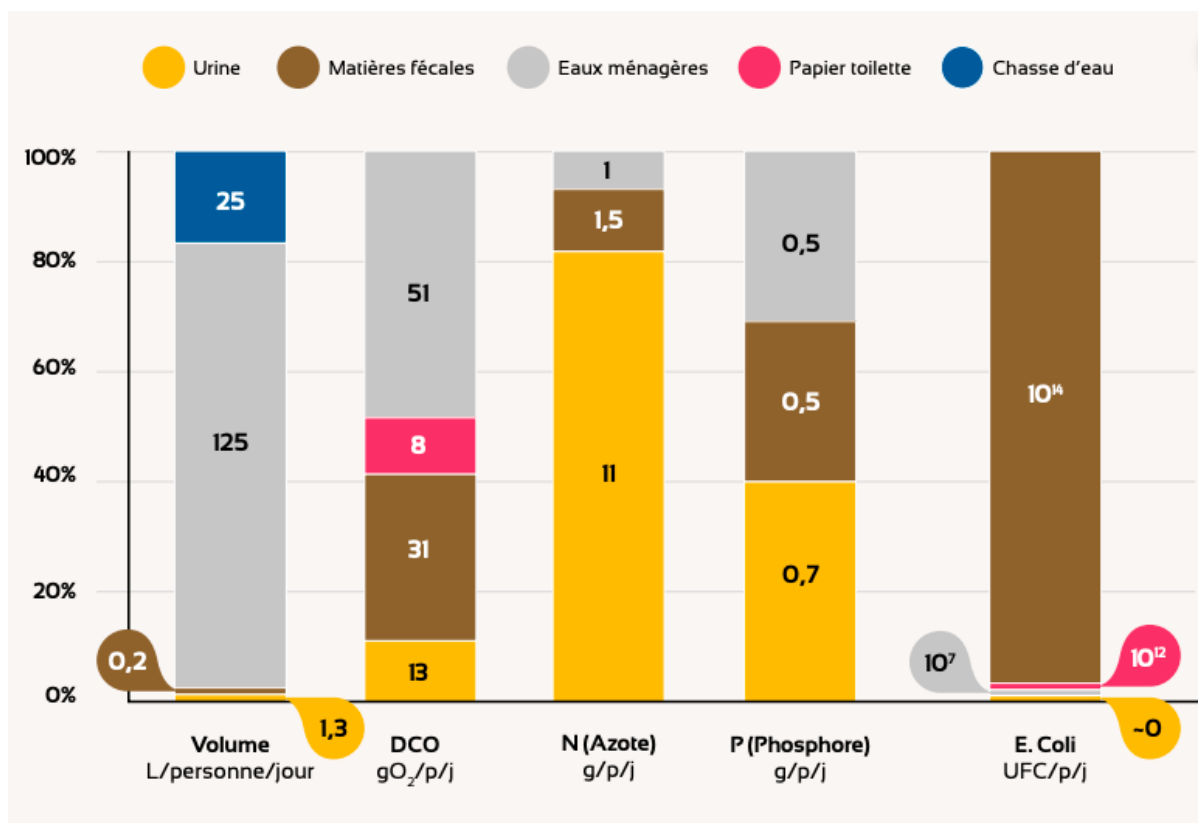


Figure 7. Caractérisation des différents effluents composant les eaux usées domestiques.

(Source : Legrand, Esculier et Tabuchi, 2021)

Les raisons exprimées lors des entretiens sont sensiblement identiques. La majorité de l'azote étant présente dans les urines (80%), il est justifié que les urines soient traitées en priorité. Que ce soit pour la valorisation agricole ou pour éviter la pollution des cours d'eau, collecter l'azote issu des urines semble primordial.

En termes de risques liés aux pathogènes, les urines n'en comportent pas ou peu. En effet, à la miction, l'urine d'un individu sain ne contient pas de micro-organismes pathogènes. Une contamination reste possible après l'excrétion si l'urine entre en contact avec des surfaces contaminées ou directement avec des matières fécales. Toutefois, même contaminée, l'urine est facilement hygiénisable. Un stockage en cuve fermée est suffisant pour éliminer les pathogènes présents (OMS, 2012).

Une plus grande facilité au niveau de la gestion des toilettes à séparation d'urine et de leur acceptabilité par rapport aux toilettes sèches a également été mise en avant durant les entretiens. Il est intéressant de noter qu'en termes de séparation et de collecte d'urine, seuls deux types de toilettes sont envisagés dans les projets rencontrés : les urinoirs secs et les toilettes à séparation

d'urine à chasse d'eau, spécifiquement le plus récent, à savoir le modèle Save! de chez Laufen, sorti en 2020.



Figure 8. Toilette Laufen Save! au siège de l'ESA. (Crédit Photo : Kelly CAN)

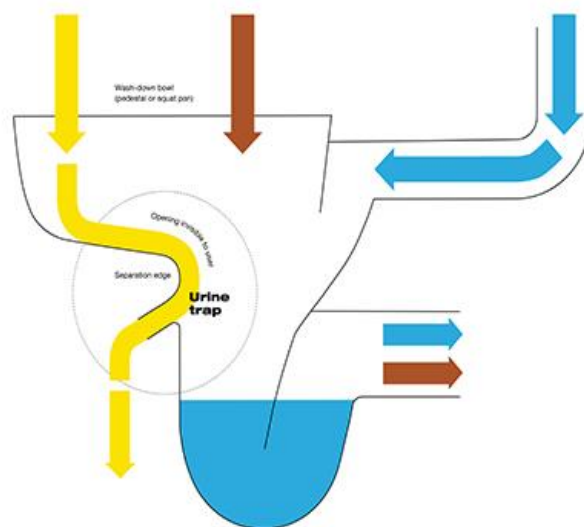


Figure 9. Mécanisme de la toilette Laufen Save! (Source : La revue du Design)



Figure 10. Toilette à séparation d'urine à compartiment de la marque Wostman.

(Source : Wostman)

La toilette Save! de Laufen, est selon Marine Legrand, un modèle récent encore peu utilisé. Toutefois, il se retrouve déjà dans trois projets pilotes importants en Île-de-France, notamment dans le bâtiment de l'ESA, les Quinconces du village olympique, et est envisagé dans la ZAC de SVDP et dans la ZAC de Corbeville.

Mathilde Besson du bureau d'étude Le Sommer Environnement, souligne que le choix des toilettes est primordial dans un projet, et son entreprise propose à ses clients uniquement les toilettes Laufen Save!

« Il existe d'autres marques de WC, mais par expérience, la plupart des gens qui l'ont installé l'ont enlevé. Ces autres toilettes ont des barrières verticales pour séparer. Le système en plus d'être visible (toilettes types Wostman), si les gens l'utilisent mal, ça s'encrasse, le papier toilette s'insère dans des endroits où il ne devrait pas se retrouver, potentiellement, des matières fécales se retrouvent dans le compartiment à urine, etc. L'entretien est très important. Les REX aux Pays-Bas ont montré que les gens en ont eu marre et ont enlevé les toilettes. Ce genre de toilettes ça marche mais c'est dédié à des personnes qui ont de la rigueur et qui ont la volonté de s'inscrire là-dedans de manière engagée. On ne peut pas le faire pour du grand-public, trois quarts des gens n'en ont rien à faire et ont déjà des problèmes sur l'hygiène avec des toilettes normales, alors si on rajoute une complexité... » Mathilde Besson - Le Sommer Environnement (Entretien du 10/06/2024).

De plus, selon Mathilde Besson, le coût engendré n'est pas négligeable, et l'image que l'on en garde est mauvaise. Cela n'incite pas à retenter la séparation à la source.

La toilette Save! de Laufen a la particularité d'être très proche formellement et esthétiquement des toilettes classiques à chasse d'eau. Le mécanisme de séparation est caché, il faut avoir connaissance du mécanisme pour avoir la volonté de se pencher pour pouvoir apercevoir l'orifice d'évacuation des urines. Ainsi, un usager ne peut savoir qu'il s'agit d'une toilette à séparation d'urine s'il n'en a pas été informé. Cela ne change donc absolument en rien l'expérience de l'usager, et élimine alors tout risque de non-acceptabilité quant à l'utilisation de ces toilettes. Un usager masculin informé pourrait faire le choix de s'asseoir pour uriner et donc permettre la collecte de son urine, ou bien choisir d'uriner debout, auquel cas l'urine partirait à l'égout comme à l'habitude.

Au niveau de l'infrastructure, les acteurs de l'aménagement et du bâtiment considèrent que la collecte d'urine est une chose simple en termes de compétences à avoir. La plomberie est sensiblement la même pour les urines, il suffit de changer la toilette et de mettre en place un réseau de collecte dédié. Tandis que pour la collecte de matières fécales, cela répond à une logique différente, et demande une ingénierie supplémentaire, la place nécessaire pour installer des composteurs (par exemple au sous-sol, au droit de la toilette), etc.

« In fine, la collecte de matière fécale demande beaucoup d'effort supplémentaire pour peu de bénéfice. » Louis Gaucher - EPAPS (Entretien du 30/07/2024).

Sur le plan sanitaire, l'hygiénisation des matières fécales est plus complexe que celle des urines. À titre d'exemple, l'urine stockée durant 6 mois est considérée sûre pour une utilisation aux champs, tandis que les matières fécales doivent faire l'objet d'un compostage à part durant 18 à 24 mois avant de pouvoir être utilisées de manière sûre sur le plan sanitaire. Cette pratique requiert également des autorisations différentes des autorités de santé à convaincre.

Concernant l'aspect psychologique et culturel, les matières fécales sont perçues comme "*plus sales*" que les urines. Selon Louis Gaucher de l'EPAPS, les promoteurs immobiliers sont d'autant plus frileux à l'idée de vendre des bâtiments avec collecte de matières fécales. Ils ne peuvent savoir à l'avance si cela constituera une plus-value au bâtiment ou au contraire, un obstacle à la vente. L'architecte Alexandre Andréassian, a tenté au sein de plusieurs projets de

proposer des toilettes sèches Clivus Multrum¹⁴. Mais systématiquement, un souci d'acceptabilité sociale est exprimé par ses clients, comme il en témoigne ici dans le cas de l'équipe de direction d'un collège :

« On a contacté les constructeurs de Rosny-sous-Bois¹⁵, ils ont visité, c'était très bien, il n'y a étonnamment pas d'odeur, alors que même en toilettes conventionnelles y a des odeurs. La visite était positive, les responsables du collège étaient favorables, ils bénéficient notamment de 80 % de subventions de l'État. Mais finalement la hiérarchie bloquait là-dessus sur le plan psychologique, c'était trop choquant pour eux. »

Il poursuit en commentant l'avis de la directrice du collège. *« On voyait bien que l'écologie était le cadet de ses soucis. Elle n'y était pas formellement opposée parce qu'elle voyait bien que c'était des sujets quasiment obligatoires. Mais voilà, y a des freins à notre culture et une tradition conservatrice. »*. Parmi les contraintes, il y avait aussi la possibilité de dégradation des toilettes par les élèves du collège.

« Le client ne voulait pas de ce système (clivus) mais voulait des Laufen plus acceptables socialement. Mais les Laufen ne sont pas adaptés aux adolescents parce qu'on pouvait trouver tout et n'importe quoi dans les toilettes. Parfois on y trouvait des assiettes, ils s'amuse à boucher les trucs. Et la tuyauterie des Laufen n'est pas adaptée aux jeunes voyous. » Alexandre Andréassian - Architecte (Entretien du 20/06/2024).

Dans le cas relaté, puisque ni les Clivus, ni les Laufen ne semblaient adaptés, le projet a finalement été abandonné.

Sur un autre projet de l'architecte, dans les Hauts-de-Seine, au jardin Albert Kahn à Boulogne-Billancourt, le pôle des jardiniers souhaitait reconstruire la Maison des jardiniers. *« Ils refont notamment les vestiaires et les sanitaires. Je leur propose alors le système Laufen ou à la*

¹⁴ Toilette sèche à récupération de matières fécales seules ou avec des urines. Voir Annexe.

¹⁵ À Rosny-Sous-Bois, la commune a installé des toilettes sèches dans le centre de loisirs Jacques Chirac. Des visites de ces toilettes et des espaces de stockage des cuves de compost de matières fécales sont possibles sur demande.

séparation par tapis roulant¹⁶. Mais le jardinier en chef fait un blocage. Il avait peur que s'il y a un problème, il faille y aller avec les mains. ». Le projet a donc aussi été abandonné.

Les freins psychologiques et culturels semblent donc plus présents pour les matières fécales que les urines. On peut donc y voir un aspect stratégique au fait de proposer une séparation des urines seules dans les projets, et avoir un taux de réponses favorables plus grand, tout en bénéficiant des externalités positives, plutôt que de proposer la séparation des urines et des matières fécales, qui risquerait de se voir refusée d'emblée.

2.5. Une dynamique de réseau très “personne-dépendante”

Cette préférence marquée vers les projets de séparation à la source de l'urine en Île-de-France semble motivée également par des personnes clés. Un nom en particulier, celui de Fabien Esculier, est cité dans près de la moitié des entretiens, lorsque les personnes sont interrogées sur la source de leur intérêt pour la séparation à la source des urines. Nombre de personnes ont été sensibilisées à la thématique par celui-ci, dans le cadre de conférences, de rencontres et de discussions.

Chez les acteurs institutionnels, lors des entretiens avec le groupement PwC, Solagro et Le Sommer Environnement, la Ville de Paris témoigne du fait que l'origine du projet de SVDP est une demande politique de deux élus de la ville qui ont été sensibilisés à la thématique par Fabien Esculier dans le cadre de conférences et de rencontres qui ont eu lieu avec ces élus. Claire Beyeler de la Métropole du Grand Paris donne également son avis personnel : « *J'avais suivi les travaux de Fabien au début. Je trouve que c'est très intéressant, il faut voir les avantages et inconvénients, les coûts, quel réseau, comment on stocke.* ».

Jean-Pierre Pruvost de l'AESN témoigne qu'« *En 2015 - 2016, [son] collègue Jacques Lesavre part à la retraite. Il croyait dans l'avenir des travaux de Fabien et avait financé sa thèse. L'AESN a suivi avec intérêt les travaux de Fabien, et a continué à collaborer avec la cellule OCAPI et [la séparation à la source] semble être une voie prometteuse pour atteindre les objectifs de bon état des masses d'eau défini par les directives cadres sur l'eau.* ».

¹⁶ Séparation gravitaire avec les urines qui s'écoulent le long du tapis roulant incliné et les matières fécales qui remontent avec le tapis roulant pour atterrir dans une autre cuve. Voir Annexe.

À Terre et Cité, la thématique de la séparation à la source suit également la trajectoire des travaux de Fabien Esculier :

« Sur le territoire c'est une dynamique entre des thématiques qui existent depuis 2014-2015. Depuis le début, les personnes qui étaient à Terre et Cité ont suivi l'émergence du programme OCAPI, avec une sensibilité à cette thématique, à la fois de la part des salariés mais aussi des agriculteurs qui pouvaient être intéressés. Fabien Esculier a aussi participé en 2016 aux Ateliers de Saclay, 4 jours organisés de façon à mélanger une trentaine de chercheurs de différentes disciplines et les acteurs du territoire pour réfléchir à partir de plusieurs fictions territoriales, aux flux entrants et sortants et ce qu'on voulait faire intervenir pour le territoire. Fabien a montré les premiers résultats de sa thèse : si on récoltait toutes les urines du plateau de Saclay, cela permet de fertiliser les terres agricoles du territoire, avec des ordres de grandeurs qui permettaient aux acteurs d'appréhender le sujet. » Ninon Gréau - ancienne employée de Terre et Cité (Entretien du 30/05/2024).

En effet, Fabien Esculier fait partie des personnes clés de cette thématique en Île-de-France. Chercheur et coordonnateur du programme OCAPI à l'École des Ponts, il se démarque par son parcours et son réseau.

Il m'explique pendant notre entretien, qu'il a fait ses études à l'École Polytechnique, et qu'il intègre le corps des Ponts durant sa quatrième année d'étude. Il trouve son premier poste en sortie d'étude et devient en 2009 chef du service Eau Environnement au Service Navigation de la Seine. En 2010, il prend le poste de chef de la Police de l'eau de la Seine, un poste de haut fonctionnaire de la DRIEE, rattaché au ministère de l'Écologie. En 2014 il est chargé de mission à l'Agence de l'eau Seine Normandie (AESN). En 2015 il commence sa thèse intitulée *“Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques”*. Rapidement, s'est institué un comité autour du programme OCAPI, composé de Bruno Tassin (ENPC), Jean-Pierre Tabuchi (ex-AESN et SIAAP), Gilles Billen (METIS), Josette Garnier et Fabien Esculier. Ils ont ensuite proposé à Bernard de Gouvello (CSTB) et à Sabine Barles (PIREN- Seine) de rejoindre ce comité. Fabien continue en soulignant qu'un consortium d'acteurs institutionnels importants s'est donc créé dès le début, donnant une assise supplémentaire au programme, qui fait beaucoup de liens entre les acteurs opérationnels et la recherche.

Fabien Esculier est donc bien une personne clé influente, mais il n'est pas seul. Dans ce jeu d'acteur, existent également des "personnes relais", moins citées durant les entretiens mais qui jouent un rôle clé par leur travail, qui contribuent à la diffusion de la séparation à la source. Ces "personnes relais" entretiennent la dynamique sur le sujet et l'empêchent de retomber comme un soufflé. Parfois, ces mêmes personnes, convaincues par la séparation à la source, vont, en changeant de poste et de structure, porter leurs visions et projets de séparation à la source dans leurs nouvelles structures. On aboutit à un réseau de plus en plus dense, porté principalement par le bouche-à-oreille. Cela participe à la diffusion du sujet par une voie interne. Par exemple :

- Léon Garaix, directeur au cabinet d'adjoint au maire de Paris et chargé de déchets, assainissement et propreté, s'est très vite intéressé au sujet, c'est aujourd'hui grâce à lui en grande partie que le projet SVDP¹⁷ peut voir le jour. Depuis 2021, il est directeur de l'École Du Breuil, école d'horticulture de Paris qui pourvoit la ville en jardiniers.
- Antoine Du Souich, chef de la Police de l'eau de l'Essonne en 2010, et ancien collègue de Fabien Esculier lorsqu'il était chef de la Police de l'eau à Paris, est ensuite devenu directeur de l'antenne développement durable de l'EPA Paris-Saclay et est intéressé par la séparation à la source depuis 2010 déjà, notamment en raison de la présence de terres agricoles à Saclay. Depuis 2019, il est directeur de la stratégie et de l'innovation à SOLIDEO, qui s'occupe des ouvrages olympiques¹⁸.

« Ce qui est intéressant sur cette thématique est que c'est très personne-dépendant. À Terre et Cité, le sujet a émergé parce qu'une des personnes sur le projet au début avait une expérience personnelle qui faisait qu'elle était déjà au fait sur cette thématique et voulait le développer sur le territoire. Avec l'EPA c'est un peu la même chose. En 2019, travaillait à l'EPA Antoine Du Souich qui était un ancien de la DDT qui travaillait sur l'eau, il mettait en permanence Terre et Cité dans la boucle avec les aménageurs pour parler du sujet et de l'installation de la séparation à la source. Je pense que c'est quelque chose qui a été très co-construit. Pour moi cette émergence est vraiment le fait de personnes qui se connaissent déjà, qui se font confiance et qui ont envie de monter

¹⁷ Le projet SVDP a choisi pour débouché de la séparation à la source, la valorisation de l'urine en engrais pour fertiliser les espaces verts et la pépinière de la VdP.

¹⁸ L'immeuble pilote Cycle du village olympique est doté de toilettes Save! de Laufen et recycle les urines et les matières fécales pour la valorisation agricole.

des choses ensemble. Et puis de personnes qui se trouvent au bon moment au bon endroit. [...] En effet, d'avoir été sensibilisé beaucoup par le programme OCAPI, quand ces personnes se retrouvent dans des postes de décisions et qu'ils ont les moyens potentiels de mettre de la séparation à la source en place, ils essaient de le faire. »

Ninon Gréau - ancienne salariée de Terre et Cité (Entretien du 30/05/2024).

Cet ensemble d'acteurs contribuant à l'émergence d'une dynamique favorable à la séparation à la source en Île-de-France a la particularité d'être, en écrasante majorité, des acteurs personnellement motivés et profondément intéressés par le sujet. Le sujet de la séparation à la source peut sembler difficile à aborder, spécial, voire risible pour certains. Il existe un frein psychologique face à l'idée de collecter et de valoriser des excréments humains, qui s'inscrit dans un contexte culturel encore relativement peu favorable à cette idée. Ainsi, les acteurs qui en font la promotion sont personnellement convaincus de l'intérêt que cette démarche peut avoir. Une partie de ces acteurs possèdent même à leur domicile, leurs propres toilettes sèches, urinoirs secs et autres dispositifs de séparation à la source.

Chapitre III - Les freins et leviers à l'émergence de la séparation à la source et la valorisation des excréta humains

3.1. Une phase de développement encore très expérimentale

3.1.1. Des filières encore jeunes et instables

Aujourd'hui, la séparation à la source en est, en France, à la phase 2 de développement avec l'émergence de projets démonstrateurs selon Larsen *et al.* (2021) et Joveniaux *et al.* (2022). Cette phase de développement encore précoce, peut engendrer une hésitation chez les acteurs qui tentent de s'engager dans un projet de séparation à la source.

« On s'est rendu compte que ça devenait assez cher, d'autant plus s'il fallait que ce soit facile d'entretien. On envisage un circuit court de revalorisation. Mais comme ce secteur n'était pas développé, ça faisait beaucoup d'incertitudes. » Émilie Démolin, Mairie de Nanterre (Entretien du 07/06/2024).

De même, selon Ghislain Mercier, la raison principale du désintérêt d'un investisseur sur un bâtiment avec séparation à la source est *« probablement que l'investisseur a pensé que c'était un truc de décroissant, avec aucun retour d'expérience »*.

Les filières de séparation à la source sont encore jeunes et instables. Les démonstrateurs opérationnels sont aujourd'hui peu nombreux, et les filières abouties semblent inexistantes. Ce manque de retour d'expérience peut freiner certains acteurs dans les projets de séparation à la source voire renforcer les incertitudes préexistantes. Toutefois, ce type d'incertitudes est commun à tout projet innovant en émergence et n'est pas propre à la séparation à la source. La séparation à la source se trouve aujourd'hui à un point d'inflexion, la dynamique peut continuer sur un décollage ou un arrêt.

3.1.2 Un manque de débouché ou un manque de ressource ?

Un des freins majeurs au développement de la séparation à la source concerne les débouchés pour les matières issues de la collecte des excréments. Concernant la séparation de l'urine par exemple, la filière est incomplète et les acteurs qui envisagent un projet de collecte de l'urine se heurtent, à l'heure actuelle, à un manque d'issues pour la valorisation.

« Il y a aussi une question de mobilisation pour valoriser les matières car des lieux existants ne le font pas pour autant. Pas mal de lieux qui avaient des toilettes alternatives ne valorisaient pas les matières. L'entretien des installations est également crucial car la qualité de la valorisation en dépend. Pour des ERP, eux à leur échelle, ne pensent pas avoir la clé pour valoriser les matières. Il y a une difficulté à passer à un maillon plus large de valorisation. » Manuel Pruvost-Bouvattier, IPR (Entretien du 13/05/2024 par PwC, Solagro et Le Sommer Environnement).

Sur les installations existantes de séparation à la source, certains acteurs séparent donc les excréments avant de les retourner (tout ou partie) au réseau des égouts. D'autres stockent les différentes matières tant que les cuves de stockage ne débordent pas, sans pour autant avoir de débouchés de valorisation clairement identifiés. C'est le cas notamment au centre de loisirs Jacques Chirac à Rosny-sous-Bois, où les urines et les matières fécales sont compostées en sous-sol. Le lixiviat (urines ayant percolé dans le composteur) s'écoule au fond des cuves de compostage et est acheminé vers les égouts par un réseau de canalisation en bas de cuve.



Figure 11. Cuve de compostage des matières fécales et tuyaux d'acheminement du lixiviat vers les égouts, Centre de Loisirs Jacques Chirac - Rosny-sous-Bois. (Crédit : Kelly CAN)

Paradoxalement, dans le monde agricole, en particulier sur le territoire du plateau de Saclay où des expérimentations d'épandage d'urine en plein champ ont eu lieu, il y a une réelle demande d'urinofertilisants qui n'est pas satisfaite.

L'un des enjeux réside dans la simultanéité de la demande des agriculteurs en engrais. Cette demande synchronisée peut être difficile à satisfaire par le manque de volume au moment voulu, et pose un défi sur la façon de stocker les matières pour les rendre disponibles.

« Ce qui intéresse les agris c'est d'avoir une visibilité à long terme, pas tant le prix à un instant T. [L'EPAPS] travaille avec Emmanuel Laureau qui est intéressé. Sachant que la ZAC va produire 10 000 m³ d'urine et d'eau sur un an qui permet de produire 670 m³ d'Aurin, ça peut fertiliser environ 185 ha de blé si on fait les trois passages en Aurin. Emmanuel Laureau à lui seul a 600 ha à fertiliser. Il y a à peine de quoi faire une ferme. » Louis Gaucher, EPAPS (Entretien du 30/07/2024).

D'autre part, le volume d'urine récoltée aujourd'hui ne permet pas de répondre aux besoins des agriculteurs. Les volumes sont insuffisants, malgré les efforts de passage à l'échelle d'un quartier, la plus grande échelle envisagée à ce jour en France.

« La crise énergétique a changé la donne au niveau économique, lorsque les prix de l'azote sont multipliés par trois, les rapports s'inversent. Finalement ça ne change pas énormément malgré tout, car il n'y a pas de disponibilité en urine. Pour l'instant les volumes sont anecdotiques, au regard des besoins de fertilisation. » Christophe Dion, Chambre d'agriculture Île-de-France (Entretien du 13/06/2024).

Cette difficulté d'approvisionnement s'accompagne d'une demande croissante des agriculteurs en engrais issus d'excrétats. Finalement, la masse critique n'est pas atteinte pour permettre une bonne rencontre entre gisements, débouchés et temporalité.

3.1.3. Une viabilité économique en questionnement

À l'heure actuelle, il n'existe pas de modèle économique viable pour l'exploitation des projets de séparation à la source. Selon l'origine privée ou publique des acteurs à l'initiative des projets, la question économique n'est pas la même.

« Il n'existe pas de prise en charge de ces coûts dans beaucoup de cas. La Ville de Paris qui possède ces moyens a pu assumer ces coûts par exemple. Les acteurs publics sont en mesure de prendre cette charge. Pour les acteurs privés, il est plus difficile d'y voir l'équilibre économique. » Fabien Esculier, OCAPI (Entretien du 29/04/2024).

Le projet de séparation des urines à la ZAC de SVDP est une initiative publique de la Ville de Paris. Ce projet bénéficie d'une subvention à hauteur de 80 % de l'AESN. Selon Aurélie Joveniaux, c'est cette subvention qui a rendu possible l'inclusion de la collecte des urines à SVDP. Les acteurs publics ont un intérêt à expérimenter des projets de transition écologique et sociale. Indépendamment de la rentabilité économique au sens strict, il est davantage question de tendre vers une viabilité économique du projet en exploitation. Une viabilité d'un projet de séparation à la source permettrait de pérenniser la pratique, pour étudier sa pertinence sur le long terme, et la rendre répliquable sur d'autres projets d'aménagement du territoire. Or, dans un contexte politique et économique incertain et évolutif, la viabilité économique d'un projet innovant ne peut être garantie. C'est la raison pour laquelle les subventions telles que celles octroyées par l'AESN sont décisives dans une dynamique d'émergence de la séparation à la source.

À l'inverse, comme souligné dans le témoignage précédent de Fabien Esculier, pour les projets de séparation à la source d'initiatives privées, sans perspective de rentabilité économique, il est difficile pour les acteurs privés de se positionner, y compris du point de vue de l'investissement.

« BNP avait vraiment une préoccupation sur l'investissement, ce n'est pas comme les bailleurs qui gèrent ce qu'ils ont construit, là ils courent un risque et ça constitue un frein pour eux. Pour les bailleurs sociaux, l'argument financier peut avoir du sens. Ils construisent pour eux-mêmes et continuent à exploiter le bâtiment. Ils peuvent rentabiliser leur investissement sur le long terme. Mais à partir du moment où les investisseurs ne sont pas les exploitants, c'est compliqué. C'est le même principe pour toutes les innovations, pas que la séparation à la source. Le gain économique n'est pas suffisant aujourd'hui pour porter la séparation à la source dans un projet. » Mathilde Besson, Le Sommer Environnement (Entretien du 10/06/2024).

Certains acteurs privés, tels que le promoteur immobilier BNP Real Estate, ont étudié la mise en place de la séparation à la source à l'échelle d'un bâtiment. Ces acteurs doivent avoir des ressources financières importantes pour pouvoir inclure des surcoûts liés à la séparation à la

source. Selon Mathilde Besson, le promoteur qui investit dans la technologie n'est pas celui qui l'exploite, mais le client qui achète le bâtiment avec la technologie. La limite résiderait donc ici dans le fait que l'investissement soit porté par le promoteur, tandis que les gains éventuels vont bénéficier au client.

Par ailleurs, selon Mathilde Besson, même si l'AESN subventionne les projets privés de séparation à la source à hauteur de 40 %, l'obligation de suivi et de conservation de la technologie installée constituent des contraintes pour les acteurs privés, puisqu'ils ne sont pas exploitants de cette technologie. La subvention qui constitue un argument favorable à la séparation à la source pour les acteurs publics, peut devenir un argument défavorable pour certains acteurs privés.

À ce jour, en Île-de-France, hormis les acteurs publics et les particuliers, seul l'ESA, en tant qu'agence intergouvernementale, est allé au bout de la démarche en installant la séparation à la source dans son bâtiment parisien et en poussant le projet jusqu'à la valorisation des urines. Il faudra attendre quelques années avant d'avoir un retour d'expérience sur la viabilité économique de ce projet.

Ces entretiens témoignent qu'à l'heure actuelle et concernant les projets ayant une taille critique minimale équivalente à un immeuble, en l'absence de modèle économique viable – en particulier pour l'exploitation, les initiatives de projets de séparation à la source n'émergent que si un acteur possède à la fois des capacités fortes d'investissement (par eux-mêmes ou avec des subventions) et un intérêt de démonstration (politique, technique ou économique par exemple).

3.2. Le rôle essentiel du cadre institutionnel

3.2.1. Une réglementation qui fait manquer des opportunités

Le cadre réglementaire actuel concernant la valorisation des excréments humains est flou et lacunaire. La réglementation est pourtant un outil à fort potentiel dans l'innovation.

« C'est à la fois une chance et une force s'il n'y a pas de réglementation. Mais parfois le manque de cadre réglementaire peut freiner les plus frileux. » Jean-Pierre Pruvost, AESN (Entretien du 05/06/2024).

Lorsqu'elle ne prévoit pas de dispositions pour un sujet précis, elle peut potentiellement faire manquer des opportunités ou au contraire en développer s'il n'y a pas de réglementation qui interdit explicitement.

Le cadre réglementaire s'appliquant actuellement à la séparation à la source concerne, selon Legrand *et al.* (2023), le cadre réglementaire de l'assainissement pour l'installation des toilettes à séparation, la collecte et le traitement des excréments et le cadre réglementaire de l'agriculture conventionnelle et de l'agriculture biologique pour la valorisation agricole des excréments.

Selon l'interprétation de ce cadre réglementaire, il peut y avoir plusieurs analyses possibles. Prenons l'exemple de la réglementation en Agriculture Biologique, avec le témoignage de Félix Lepers, chargé de la réglementation et des politiques publiques à la FNAB :

« La réglementation¹⁹ et l'annexe²⁰ ne prévoient rien, donc on ne peut pas l'utiliser. [...] Si on considère au sens strict, c'est plutôt interdit. Dans ce cas, il faudrait présenter aux autorités françaises, à l'INAO²¹ et se dire qu'on considère que la bio serait un endroit légitime pour expérimenter. Créer un régime de manquement tolérant ne prononce pas de sanction altérante comme un retrait de label, donc sans conséquence pour la suite. Donc on demande une modification du règlement bio pour changer le manquement.²² » Félix Lepers, FNAB (Entretien du 26/07/2024).

Selon Félix Lepers, la réglementation ne prévoit pas spécifiquement l'autorisation d'utilisation des excréments humains dans l'agriculture biologique. Si l'on s'arrête sur cette interprétation stricte, on ne peut pas utiliser les excréments humains comme engrais. En effet, cela peut freiner l'adoption de cette pratique et décourager l'émergence de projets de valorisation des excréments.

¹⁹ Règlement (UE) 2018/848 - règles relatives à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques.

²⁰ Règlement d'exécution (UE) 2021/1165, Annexe II sur les engrais, amendements du sol et éléments nutritifs

²¹ Institut national de l'origine et de la qualité.

²² Un recours en manquement est une procédure juridique prévue en droit de l'Union Européenne lorsqu'un manquement (absence de texte juridique) est constaté. Le manquement est imputable à l'État.

3.2.2. Le rôle décisif des acteurs institutionnels

Les élus et les agences régionales et nationales jouent un rôle décisif sur l'émergence ou l'arrêt de projets de séparation à la source.

« Tant qu'il n'y a pas une volonté du client (public ou privé) il n'y aura pas de déploiement de la séparation à la source. Systématiquement, il y a eu une volonté politique affichée (un élu souvent) qui a été poussée jusqu'au bout lorsqu'il y a eu un projet. Les bureaux d'étude peuvent pousser le projet autant qu'ils veulent, avec des arguments économiques, tant qu'il n'y a pas un élu qui est positionné favorablement, la séparation à la source n'émergera pas dans les projets. » Mathilde Besson, Le Sommer environnement (Entretien du 10/06/2024).

Selon Mathilde Besson, les acteurs institutionnels tels que les élus ou acteurs dotés de capacités décisionnelles dans des structures publiques constituent le point de bascule de l'émergence des projets de séparation à la source. En fin de compte, peu importe le stade de développement d'une filière de séparation à la source selon elle, ce sont ces acteurs qui auront le pouvoir de faire émerger ou non des projets.

En accord avec la dynamique de réseau "personne-dépendante", selon Fabien Esculier, la dynamique institutionnelle dépendra des individus porteurs du sujet. Les turnovers ou au contraire le fait de demeurer longtemps au sein d'une institution participe pleinement à la création de nouvelles dynamiques, de nouveaux acteurs, à la possibilité de porter les projets jusqu'au bout.

Fabien Esculier témoigne également des motivations qui divergent au sein des ministères.

« J'ai compris assez tardivement, il y a un an, je me suis dit qu'en fait le ministère de l'écologie, son but c'est de ne pas avoir de contentieux avec les directives européennes. Et comme les directives européennes ne parlent pas de séparation à la source, en fait leur priorité numéro 1 c'est que l'assainissement fonctionne bien. Et donc ils n'ont pas en priorité de réinventer le système. Et donc je pense qu'en fait ils sont très mal positionnés pour être porteurs [de ce type de] sujet d'innovation écologique, alors que c'est le ministère de l'écologie. [...] Alors que le ministère de l'agriculture ils sont plus sur "comment on fait pour avoir de l'azote ?" et ils savent que l'azote va coûter de plus en plus cher, ce sera de moins en moins disponible, qu'il est hyper émissif en carbone,

etc. Eux ils ont beaucoup plus une logique de “si on peut faire fonctionner des filières, on est motivé”. » Fabien Esculier, OCAPI (Entretien du 29/04/2024).

Selon lui, les objectifs et les enjeux au sein des ministères de l'écologie et de l'agriculture sont différents. Cela expliquerait le manque d'intérêt du ministère de l'écologie pour la séparation à la source, en particulier au début de la dynamique francilienne, au début des années 2010. Tandis que le ministère de l'agriculture, motivé par ses besoins en engrais, s'intéresse davantage au sujet. Il témoigne d'ailleurs que des membres du Conseil Général de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER) réfléchissent à proposer au ministre de l'agriculture une mission sur la séparation à la source pour faire des recommandations de politiques publiques.

Des institutions placées sous la tutelle du ministère de l'écologie telles que l'ADEME IDF, l'ADEME et l'AESN financent également des projets de séparation à la source sur la région francilienne malgré le positionnement peu proactif du ministère de l'écologie. Ces agences de financement constituent un tremplin majeur à l'émergence de ces projets, soutenus par les subventions octroyées par ces dernières. Selon Aurélie Joveniaux, du point de vue de la Ville de Paris, les investissements sont en grande partie financés par l'AESN. Sans ce financement, les élus ne seraient pas allés jusqu'au bout de la démarche.

L'AESN, fortement moteur des projets de séparation à la source en Île-de-France, subventionne les initiatives publiques à hauteur de 80 % des investissements, et les initiatives privées à hauteur de 40 %. Ces subventions, largement tournées vers le financement des projets publics, peuvent s'expliquer par le fait qu'actuellement, ce sont les services publics qui sont chargés de l'assainissement urbain. On peut alors s'attendre à l'exploration d'un modèle d'assainissement différent par la plus-value de la séparation à la source, mais toujours entretenu par les services publics.

Selon Jean-Pierre Pruvost de l'AESN, les critères de sélection des projets à subventionner sont de posséder des débouchés pour l'urine, ainsi qu'une taille critique suffisamment grande. Ces critères imposent donc aux projets de séparation à la source d'avoir un plan de filière suffisamment abouti et une taille critique, actuellement estimée de l'ordre d'un immeuble. Autrement, l'AESN ne considère pas comme ayant un impact suffisant les plus petits projets (de l'ordre d'une à deux toilettes à séparation par exemple), les toilettes publiques ou les projets de particuliers. Or, rares sont les projets d'initiative privée possédant les ressources nécessaires pour bâtir des projets d'envergure suffisante (cf. 3.1.3.).

Par ailleurs, l'AESN souhaite établir un plan de déploiement de la séparation à la source, de façon à avoir un cadre clair d'acteurs pour savoir comment organiser la filière à l'échelle régionale, en Île-de-France. Co-portée avec l'ADEME IDF et OCAPI, l'étude a été confiée à un consortium formé par les cabinets d'études PwC, le Sommer Environnement et Solagro. Pour Fabien Esculier, cette étude aura un enjeu majeur pour le futur de la séparation à la source en Île-de-France :

« À plus court terme, l'étude AESN va jouer un rôle majeur dans la direction que prendra la séparation à la source. [L'alliance entre les ministères de l'écologie et de l'agriculture est très difficile en ce moment]. Or ce sujet peut leur donner l'opportunité de travailler conjointement, où l'agriculture et l'écologie seraient bénéficiaires des effets de la séparation à la source. » Fabien Esculier, OCAPI (Entretien du 29/04/2024).

L'ADEME lance également une étude pour permettre de se positionner quant aux financements qu'ils accorderont ou non aux futurs projets de séparation à la source à l'échelle nationale. Cette étude prendra fin en 2025.

« On définit une feuille de route, qui sera consolidée par les résultats de l'étude, et la direction décidera d'octroyer des fonds pour le financer. » Thibaut Faucon, ADEME (Entretien du 25/06/2024).

Ainsi, on remarque une dynamique grandissante de la séparation à la source en Île-de-France, largement portée par des institutions publiques et leurs financements. En revanche, le désengagement d'une institution telle que le SIAAP peut tout aussi freiner une dynamique naissante, qu'il pourrait au contraire accompagner et porter.

« Le SIAAP s'est désengagé du sujet progressivement vers 2019, après avoir co-financé le projet Agrocapi. [...] Cette séparation marque une épreuve pour le déploiement de la séparation à la source en Île-de-France, car le SIAAP [est] un acteur légitime dans ces projets. Ce changement de posture est fortement lié aux changements des acteurs au sein du SIAAP, certains acteurs comme Jean-Pierre Tabuchi, largement porteur des projets de séparation à la source, en partant à la retraite, ne pouvait plus continuer à porter ces projets en tant que SIAAP. D'autre part, du point de vue économique, [la séparation à la source pose la question du paiement de la taxe assainissement]. C'est

un enjeu majeur en cours au quartier Saint-Vincent-de-Paul. » Fabien Esculier, OCAPI (Entretien du 29/04/2024).

Le SIAAP, service public de l'assainissement francilien, représente un acteur à fort potentiel dans l'émergence de la séparation à la source en Île-de-France. Le revirement de cet acteur montre à nouveau l'importance des acteurs institutionnels et de la dynamique fortement "personne-dépendante" de ce sujet d'innovation.

Le jeu d'acteur qui constitue le cadre institutionnel est également d'ordre politique. L'engagement, et a contrario, le désengagement d'une institution dépendent des personnes qui orientent ses actions et prises de position, à un instant T.

Certains des acteurs rencontrés dans cette enquête estiment qu'il pourrait s'agir d'une question de bord politique. Plusieurs témoignages attestent que des élus menant une politique de droite ne se soucient guère des enjeux écologiques et de développement durable. Ces enjeux sont souvent portés par des élus de gauche et de la gauche écologiste en particulier. Selon eux, les élus à droite de l'échiquier politique ne s'intéressent pas aux technologies *low-tech*, et sont davantage tournés vers l'implantation d'entreprises et industries *high-tech* sur un territoire. De même, selon ces témoignages, le discours à tenir devant tel ou tel bord politique ne serait donc pas le même. De manière caricaturale, un acteur positionné à gauche serait plus sensible à des enjeux d'écologie, de technologie *low-tech*, tandis qu'un acteur positionné plus à droite serait plus sensible à un souci de souveraineté et à l'implantation d'industries très techniques.

3.2.3. Une filière non prioritaire dans les projets d'aménagement

Dans certains contextes, la séparation à la source n'est tout simplement pas un sujet prioritaire dans les projets de rénovation ou de nouvelles constructions. C'est le cas, par exemple, à Saint-Ouen et à Nanterre, territoires où un premier intérêt pour le sujet s'était exprimé :

« Dans le contexte patrimonial de Saint-Ouen, on a un bâti qui est vieillissant, en mauvais état. Dans ce contexte-là, il est difficile de tester des nouvelles choses, il faut se concentrer sur ce qui doit être fait d'urgent. Il n'y a pas forcément ni l'espace ni la liberté d'innover. » Clémentine Roux-Claden, Mairie de Saint-Ouen (Entretien du 07/06/2024).

La séparation à la source, même si elle convainc par ses bénéfices environnementaux, n'est pas une priorité pour certains territoires. Les communes et les communautés de communes ne disposent pas toutes de moyens financiers suffisamment élevés pour innover en matière de transition écologique. S'il existe déjà des difficultés pour mettre aux normes des bâtiments publics, l'innovation telle que la séparation à la source revêt un caractère facultatif, et sera reléguée au second plan.

De même, le contexte social peut constituer un frein dans certains cas.

« Le souci est que la population à Nanterre est un public qui peut être un peu compliqué, avec déjà beaucoup de difficultés au niveau du tri des déchets. On se disait que rajouter ça sur un projet immobilier, il y aurait de fortes chances que ça ne fonctionne pas ensuite. Dans la ZAC, on a pour priorité de mettre en place une mixité sociale, d'éviter que les personnes plus pauvres ne soient parquées dans des grandes tours. La question de la séparation à la source n'est pas prioritaire. » Émilie Démolin, Mairie de Nanterre (Entretien du 07/06/2024).

Ainsi, le potentiel de soutien au développement de la séparation à la source dépend fortement des enjeux propres aux territoires, ainsi qu'à leurs moyens économiques et à leur agenda politique.

3.3. Un sujet disruptif qui fait face à un verrouillage sociotechnique²³

3.3.1. Une complexité technique qui se révèle chemin faisant

En tant qu'approche alternative de gestion des excréments, la séparation à la source soulève d'abord des défis techniques multiples.

Concernant les infrastructures de collecte, la séparation à la source, notamment des urines, se heurte à une difficulté d'intégration plus importante dans le bâti existant. Par exemple à Paris, les bâtiments parisiens n'ont pas été construits en prévision de l'installation de cuves lourdes, en particulier les plus anciens d'entre eux²⁴.

²³ Cette section qui n'était pas aboutie lors du rendu universitaire du mémoire a fait l'objet d'une importante réécriture de la part de Marine Legrand, en se référant aux matériaux initiaux de l'enquête qui lui avaient été transmis.

²⁴ <https://www.comeetie.fr/galerie/BatiParis/#12/48.8589/2.3491> Carte interactive des périodes de constructions des bâtiments parisiens. Plus l'on s'approche du centre de la ville, plus le bâti est ancien.

Ce défi s'accompagne du choix délicat à faire concernant le transport des urines. Que le traitement se fasse sur place ou de manière délocalisée, le débat subsiste entre les urinoducs et le transport par camion. Le cas de Paris soulève ainsi la difficulté particulière liée à l'usage de camions pour transporter les urines entre les sites de collectes et les sites de traitement, dans un contexte urbain très dense, où la circulation automobile fait l'objet de restrictions croissantes.

Selon Mathilde Besson, la question du transport des matières par voie terrestre (en camion) ne renvoie pas tant aux enjeux écologiques ou techniques qu'à une question d'image :

« Dans la région parisienne, le transport des matières va poser un problème. Sur les transports, il y a deux aspects qui entrent en jeu : ça fait des camions en ville et ça, ce n'est pas accepté, ça renvoie à la pollution. Et en plus, il y a déjà trop de bouchons en métropole et surtout c'est cher et bruyant. Dans les centres villes comme Paris, exporter ce n'est pas évident. Déjà qu'en métropole on essaie de baisser le passage des camions, surtout en périphérie. Ce n'est pas possible d'avoir un double discours, d'un côté on veut diminuer les camions et de l'autre on veut en rajouter. C'est une question d'image et de coût. » Mathilde Besson - Le Sommer Environnement (Entretien du 10/06/2024).

Cela pose des questions de répartition spatiale des lieux de traitement, en particulier dans le cas des urines. Ainsi dans le cas du projet Saint-Vincent de Paul, la voirie existante de l'écoquartier est inadaptée à la circulation d'un grand nombre de camions, ce qui participe à justifier le choix d'une station de traitement sur site, par concentration. Réciproquement, le site de traitement des urines prévu ne permet pas d'accueillir plus de volumes d'urine que ceux de la collecte de l'écoquartier lui-même et il n'est pas envisagé que la station de traitement locale devienne un point de centralisation des flux d'urine collectés ailleurs dans Paris.

La même question se pose sur d'autres sites visés par des projets de collecte d'urine, notamment en contexte scolaire :

« On a des problèmes de voirie si c'est apaisé, le camion va être illogique dans cette voirie. On peut avoir des problèmes d'accessibilité sur site. » Manon Besançon - CAUE 75 (Entretien du 21/06).

En regard de cette contrainte, une option se dessine pour certaines échelles de collecte du moins : celle de la logistique double flux telle qu'envisagée dans le cas des points d'apport volontaire d'urine²⁵, n'engendrant pas de circulation supplémentaire.

Sur le plateau de Saclay, l'espace urbain est moins dense qu'à Paris. Le transport des urines par camion peut ainsi être envisagé plus facilement :

« Ce n'est pas impossible de mettre ça dans des bâtiments existants, mais il faut un réseau, des toilettes spécifiques et il faut une cuve si on est sur des bâtiments isolés. Ça reste complexe et peu pertinent pour des bâtiments isolés. Il faut un camion par bâtiment si on ne met pas d'urinoduc. Aujourd'hui, on hésite, on peut peut-être tester le 100% camion (pour éviter de souiller tout le gisement avec quelques mauvais usages). Il y a aussi des options de stockage massif en pied d'immeuble ou des options de centres multiples de traitement. » Louis Gaucher - EPAPS (entretien du 30/07/2024).

Sur le plateau de Saclay, le transport par camion peut être plus pertinent que l'installation d'un réseau d'urinoducs entre les bâtiments. Le territoire du plateau de Saclay est également largement composé de terres agricoles, sur lesquels la voirie et les bâtis sont parfois inexistantes. La filière de séparation à la source des urines sur ce territoire est alors à construire en même temps que la ZAC, ce qui laisse plus de marge de manœuvre par rapport à Paris.

Outre la question de l'infrastructure, le besoin d'acteurs compétents pour piloter la filière est fréquemment soulevé.

« Soit il n'y a pas d'acteur en local pour porter la collecte, soit il n'y a pas de personnes compétentes pour l'entretien du système. Dans quasiment tous les projets, on essaie d'explorer cette piste [la séparation à la source] mais ça a du mal à se concrétiser, en partie parce qu'on n'est pas formé aux aspects techniques, et on est parfois à court d'argument. » Paul Gaucherand de Rochas - ZEFECO (Entretien du 13/06/2024).

C'est parfois après les études de faisabilité que les projets s'arrêtent, lorsque celles-ci ne permettent pas d'identifier les interlocuteurs compétents. Ces lacunes peuvent rendre les porteurs de projets réticents à s'engager dans une technique encore maîtrisée par peu d'acteurs. Ce témoignage souligne la nécessaire émergence d'acteurs professionnels à même de prendre

²⁵ C'est le cas du projet ENVILLE, avec un point d'apport volontaire d'urine associé à une AMAP.
<https://www.leesu.fr/ocapi/les-projets/enville/>

en charge les différents maillons des filières de gestion des urines, et donc, à un besoin de formation et/ou de repositionnement d'acteurs.

A ce stade, seuls les porteurs de projets qui disposent de ressources humaines et économiques suffisantes peuvent pallier cela et prendre en charge la construction et le démarrage d'une filière, en conservant un bon degré de contrôle des risques associés.

3.3.2. De la « modernité » aux « résidus médicamenteux » : des sujets de préoccupation à approfondir

Par ailleurs, comme toute approche en rupture avec les habitudes, organisations et infrastructures existantes, la séparation à la source fait l'objet de débats. En particulier, elle remet en discussion le rapport contemporain aux excréments dans un pays industriel riche, où leur gestion est confiée à des infrastructures centralisées et lointaines, tandis que le sujet reste largement passé sous silence. De fait, l'évocation de la valorisation agricole des excréments va de pair avec une forme de *retour du refoulé*, qui peut difficilement aller sans une certaine surprise, une gêne voire un rejet complet, du moins dans un premier temps. Les motifs de ce rejet sont néanmoins variés, et principalement de deux ordres : le premier motif identifié dans cette enquête renvoie à l'idée générique de modernité. Le second, plus spécifique, est associé à la présence d'éventuels contaminants dans les excréments humains, tels que les résidus médicamenteux.

Les réactions outrées étaient plus nombreuses il y a une quinzaine d'années qu'elles le sont aujourd'hui. Ainsi en 2012, quand Fabien Esculier présente le sujet de la séparation à la source au groupe de travail « Eau et Assainissement » du projet du Grand-Paris, il rencontre des réactions parfois très négatives :

« Le groupe de travail n'était pas convaincu, j'ai eu une réception dénigrante de certains membres : " C'est n'importe quoi les toilettes au fond du jardin, ça n'a aucun sens, etc. " ».
Fabien Esculier, OCAPI (Entretien du 29/04/2024).

Si ce genre de réactions s'avère moins fréquent aujourd'hui, à mesure que le sujet est médiatisé, dans cette enquête, il a été exprimé à plusieurs reprises durant les entretiens, que les toilettes non conventionnelles peuvent encore renvoyer pour certains à une pratique archaïque, au sous-développement, ou encore à un altermondialisme écologique. Ces images constituent autant de

figures repoussoir, qui renvoient à une idée similaire : celle d'un retour en arrière contraire au progrès, à la modernité.

Ainsi Jean-Pierre Pruvost, chargé d'opération référent sur la séparation à la source des urines à la direction territoriale Seine Francilienne de l'AESN, a lui-même été surpris par l'émergence de la thématique, en rupture avec les approches centralisées en STEP. S'il s'est largement familiarisé avec le sujet en se documentant au fil du temps, et considère qu'il s'agit d'une solution « *intelligente* », il souligne l'incompréhension persistante de certains de ses collègues : « *Parfois les collègues sont ébahis "on revient au Moyen-âge"* » Jean-Pierre Pruvost, AESN (Entretien du 05/06/2024).

D'autres acteurs interrogés soulignent la difficulté à remettre en question les pratiques et pointent du doigt le dégoût que pourrait susciter la mise en œuvre d'une telle méthode de gestion des excréments. Ainsi, A. Andréassian, architecte, cherche à proposer l'installation de toilettes sèches lors d'une opération de rénovation de collèges tournée vers l'adaptation au changement climatique (cours oasis). Il se heurte, après de premières discussions, à un refus de la part de son maître d'ouvrage – un conseil départemental : « *Mais finalement la hiérarchie bloquait là-dessus sur le plan psychologique, c'était trop choquant pour eux.* » Alexandre Andréassian - Architecte (Entretien du 20/06/2024).

Du côté de l'utilisation des fertilisants issus des excréments à présent, plusieurs acteurs interrogés soulignent la préférence des agriculteurs pour l'utilisation de produits le plus transformés possible, qui s'éloigneraient au plus d'une forme brute pouvant rappeler leur origine. L'aspect final de l'engrais produit à base d'excréments acquiert ici de ce point de vue une importance spécifique :

« *L'avantage de l'Aurin est qu'il est totalement transformé. Quand c'est transformé c'est mieux, vis-à-vis des collectivités aussi.* » Louis Gaucher - EPAPS (entretien du 30/07/2024).

On peut émettre l'hypothèse qu'ici aussi, le rétablissement d'une proximité avec les excréments humains provoquent une réticence d'ordre culturelle, ou psychologique. À cela, on peut ajouter l'hypothèse que cette préférence est également liée au souhait de ne pas avoir à changer d'habitude, c'est-à-dire de pratique et de matériel d'épandage (ex. utilisation d'engrais de synthèse concentrés en granulés ou liquides selon les cas).

Les réticences associées à l'idée de valoriser les excréments humains comme fertilisants se cristallisent également autour d'un sujet spécifique, celui des indésirables tels que les résidus médicamenteux. Ce sujet fait l'objet d'une préoccupation partagée par une partie des acteurs interrogés, notamment agricoles, pour lesquels il constitue notamment un enjeu d'image :

« On fait de la communication auprès des agriculteurs car une source d'azote est toujours intéressante pour les agris. Mais il y a un problème de perception. Les acheteurs mettent la pression. Il n'y a pas de cahier des charges agro-industriel qui interdit spécifiquement les urines mais si le sujet prend de l'ampleur, il y a un risque d'amalgame avec les boues de STEP. (...) Les agriculteurs n'ont pas forcément très peur des médicaments mais c'est plutôt les acheteurs. (...) Il y a un énorme frein psychologique. » Christophe Dion - Chambre d'agriculture IDF (Entretien du 13/06/2024).

Le risque de non acceptabilité des consommateurs fait ainsi partie des éléments qui peuvent faire hésiter les acteurs du secteur agricole. Il conviendrait donc, à présent, de mener enquête auprès des publics concernés – i.e. les consommateurs potentiels de denrées alimentaires fertilisées à l'urine humaine - de manière à disposer de données empiriques tangibles sur ce sujet.

Le sujet des résidus médicamenteux est régulièrement associé à l'histoire des contaminations des sols agricoles suite à l'épandage de boues de STEP, qui a largement marqué les esprits, notamment en Ile-de-France.

« Il y a une grosse crainte des résidus médicamenteux. C'est la même défiance que par rapport aux boues, et parfois pire. (...) Il reste forcément des médicaments dans les urines, la question est de voir s'ils sont dangereux. Sur le sujet des médicaments : on a du mal à mobiliser la filière eau/assainissement qui est elle aussi confrontée à la problématique. Les agriculteurs ont tous en tête ce qu'il s'est passé avec les boues de STEP il y a quelques dizaines d'années. Aujourd'hui, ils veulent que ce qu'ils utilisent comme fertilisant soit indemne et ne pose pas de problème pour une commercialisation de leur récolte dans le futur. » Christophe Dion - Chambre d'agriculture IDF (Entretien du 13/06/2024).

Selon les témoignages de la Chambre d'agriculture IDF et la DRIAFA, l'historique de contamination des sols agricoles (notamment aux métaux lourds) par les boues de STEP, est

encore présent à l'esprit de la profession. Cela renforce les appréhensions liées à l'épandage de fertilisants issus des excréments humains. Cet élément signale, d'une part, que l'historique de contamination des sols agricoles par les boues de STEP a généré une méfiance vis-à-vis des matières fertilisantes issues des espaces urbains. Il signale d'autre part que, par association d'idée, les excréments sont assimilés aux boues de STEP même si, les contaminations associées aux boues proviennent d'autres composantes des eaux usées. Il n'en reste pas moins que la présence d'indésirables dans les excréments humains, en particuliers les résidus médicamenteux, constitue un sujet de préoccupation partagé chez de nombreux acteurs. A ce titre, ce sujet fait actuellement l'objet de travaux de recherches spécifiques (Brun et al., 2025).

3.3.4. Un besoin de pédagogie et de communication pour l'adhésion des parties prenantes

Certains acteurs interrogés, convaincus par la séparation à la source, appuient le besoin de pédagogie et de communication pour l'adhésion des acteurs concernés. À l'Institut Paris Region, Manuel Pruvost-Bouvattier explique que cette structure a un rôle de vulgarisation et de pédagogie sur ce sujet de la séparation à la source. C'est la raison pour laquelle l'institut produit des "notes rapides" abordables, pour transmettre de la connaissance à ce sujet.

Les freins psychologiques semblent également pouvoir être levés par la sensibilisation et une communication autour du sujet. Ce point de vue est notamment soutenu par Jean-Pierre Pruvost de l'AESN :

« Je pense que la séparation à la source est de mieux en mieux acceptée en interne et en externe. On voit fleurir des projets de tous les côtés, grâce à Fabien, Marine, le GTT Arceau, par le lobbying de cette technologie. Ça porte ses fruits, petit à petit. » Jean-Pierre Pruvost - AESN (Entretien du 05/06/2024).

Jean-Pierre Pruvost constate que la diffusion de ce sujet par les acteurs clés et les personnes relais a permis une meilleure acceptation par les différentes parties prenantes. C'est une observation qui se vérifie également du côté des agriculteurs, notamment par le bouche à oreille.

« Il y a une répliquabilité par les pairs qui s'opère. Les agriculteurs font visiter leur parcelle entre eux. Il y a des évolutions plutôt positives, mais il n'y avait pas d'opposition frontale à l'origine, plutôt un manque d'intérêt. L'installation de la séparation à la source dans tous les bâtiments de la ZAC pousse les agriculteurs à s'intéresser. » Ninon Gréau, ancienne chargée de mission à Terre et Cité (Entretien du 30/05/2024).

Cet échange par les pairs est une voie de communication autre que le plaidoyer et l'apport de connaissance externe, qui permet de susciter de l'intérêt là où un apport de connaissance verticale peut échouer. Dans le monde de l'urbanisme, certaines expériences, comme à SVDP, montrent que l'adhésion des parties prenantes peut passer par la co-construction des projets, en impliquant d'emblée chaque partie dans la résolution des problèmes.

« P&MA est voué à disparaître, il est impensable de lancer le projet s'il n'y avait pas le soutien des autres services de la ville, les mettre autour de la table, en discuter, et ça a été approprié, débroussaillé pour eux et avec eux. La réussite de ce projet vient de la capacité à créer de la confiance. » Thibaut Faucon - ADEME (Entretien du 25/06/2024).

L'intérêt des parties prenantes peut donc être suscité par une implication active de celles-ci dans les projets. Outre la résolution de défis techniques, cette coopération permet de construire une relation de confiance.

Conclusion

Ce mémoire est une étude qualitative ayant pour objectif d’explorer les dynamiques existantes concernant la séparation à la source des excréments humains sur le territoire francilien. Cette étude se base sur l’analyse des retours d’expérience collectés par le biais de 28 entretiens menés majoritairement en visioconférence et 9 comptes rendus d’entretiens du groupement d’étude Solagro, Le Sommer Environnement et PwC, et le recensement des projets existants en Île-de-France.

Les retours d’expériences collectés montrent que la séparation à la source est constituée d’un ensemble de projets pilotes en émergence, principalement dans Paris et alentours avec un objectif commun de démonstrateurs de la transition écologique et sociale. Les préoccupations initiales menant à ces projets sont diverses : la baisse des émissions de carbone, les limites rencontrées par les systèmes d’assainissement centralisés, les économies d’eau et la pollution des milieux aquatiques, les liens entre milieux ruraux et urbains, et les enjeux de souveraineté alimentaire. En Île-de-France, les projets émergents sont fortement orientés vers la collecte et la valorisation des urines, répondant à une préférence et une plus grande simplicité de mise en œuvre sur les plans technique, sanitaire et culturel. En outre, le sujet de la séparation à la source de l’urine se distingue par un portage plus important, par un réseau de personnes intéressées. Des acteurs-clés et des personnes-relais intimement convaincus par les bénéfices environnementaux de cette pratique, entretiennent et développent la dynamique autour de ce sujet, et participent à l’émergence de projets de plus grande envergure. Comme toute filière en expansion, plus elle progresse, plus la séparation à la source rencontre de nouveaux défis à relever. Elle est aujourd’hui à un stade encore expérimental, en attente de plus de retours d’expériences, ainsi que de débouchés pérennes. La question de la viabilité économique à long terme se pose également, reposant sur la mise en œuvre de politiques publiques *ad-hoc* à différentes échelles territoriales. Ainsi, la séparation à la source fait encore face à un verrouillage sociotechnique (Joveniaux *et al.*, 2022) qui reste à surmonter avant de pouvoir atteindre la phase 3 de développement, qui correspond au décollage et à la diffusion globale de cette pratique (Larsen *et al.*, 2021). Le cadre institutionnel peut être décisif, en termes notamment de réglementation et de prise de position d’acteurs-clés. Le degré d’engagement des acteurs institutionnels dans les projets de séparation à la source reste donc essentiel à ce stade pour l’avenir de ces filières.

La séparation à la source se développe en Île-de-France malgré un certain nombre de questions encore en suspens. A terme, c'est un sujet qui a le potentiel de transformer amplement l'organisation des territoires urbains. Il est intéressant de s'interroger sur ses perspectives, notamment d'un point de vue politique. L'étude régionale commanditée par l'AESN et l'ADEME-IDF sur les modalités d'un déploiement à grande échelle de la séparation à la source marque un jalon important, d'autant que des initiatives semblables émergent dans d'autres métropoles. S'y ajoute l'étude nationale de l'ADEME pour définir son positionnement et sa stratégie vis-à-vis de celle-ci. L'ensemble de ces éléments renforcent la possibilité d'envisager un véritable passage à l'échelle.

Toutefois, dans un climat politique flottant, il pourrait émerger, *a contrario*, comme cela a été le cas en Suède, un scénario où aucune volonté politique de changement n'émerge, ce qui reviendrait à maintenir le *statu quo* et donc le verrouillage sociotechnique, rendant plus difficile l'émergence de la séparation à la source et maintenant les externalités négatives du système actuel. Un autre facteur de risque est celui d'avoir des investissements majeurs, publics ou privés, consentis sur des secteurs proches mais dans des directions différentes, voire opposées, qui empêcheront mécaniquement de mobiliser des financements pour la séparation à la source. On peut penser à la mise en conformité DERU2, au développement de la réutilisation des eaux usées traitées ou encore à la synthèse d'engrais azoté par hydrolyse de l'eau et énergie électrique.

C'est dans les années à venir que nous saurons quelle direction s'affirmera. En toute hypothèse, on observe une sensibilisation et une implication croissante de nombreux acteurs, parmi lesquels figurent des entités influentes telles que la Ville de Paris, P&MA, et la Chambre d'Agriculture Île-de-France. De manière progressive, ce mouvement s'élargit à une diversité croissante d'intervenants, incluant des promoteurs immobiliers, des professionnels de l'aménagement urbain et de l'agriculture. L'engagement financier de l'AESN et de l'ADEME, qui soutiennent depuis quelques années des études et des projets de séparation à la source, constitue un levier significatif pour l'expansion de cette pratique en Île-de-France, et potentiellement à l'échelle nationale.

Bibliographie

AESN (2023) *Stratégie Adaptation Changement Climatique*. <https://www.calameo.com/agence-de-l-eau-seine-normandie/read/004001913d83a4950a1db>

Barles, S. (2005). *L'invention des déchets urbains, France, 1790-1970*. Champ vallon. <https://shs.hal.science/halshs-00124414>

Brun, F., Legrand, M., Esculier, F. (2025) [Note de synthèse : Les éléments indésirables des urino-fertilisants en agriculture](#). Projet Kolos, Programme OCAP, LEESU, Ecole nationale des ponts et chaussées, Institut Polytechnique de Paris, Univ Paris-Est-Créteil.

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), 839-850.

DRIEAT (2023). *Plan baignade de la Seine et la Marne : Les actions s'intensifient pour les Jeux Olympiques et Paralympiques 2024 et en héritage pour les Franciliens*. DRIEAT Île-de-France. <https://www.drieat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/plan-baignade-de-la-seine-et-la-marne-les-actions-a12679.html>

Erisman, J., Sutton, M., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geosciences* 1, 636–639. <https://doi.org/10.1038/ngeo325>

Esculier F., Le Noë, J., Barles, S., Billen, G., Créno, B., Garnier, J., Lesavre, J., Petit L. et Tabuchi, J.-P. (2018). The biogeochemical imprint of human metabolism in Paris Megacity: A regionalized analysis of a water-agro-food system. *Journal of Hydrology*, 573, 1028-1045. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.043>

Esculier F., Tabuchi, J.-P., Créno, B. (2015). Nutrient and energy flows related to wastewater management in the Greater Paris: the potential of urine source separation under global change constraints. *International conference on Water, Megacities and global change 2015 December 1st - 4th 2015 at UNESCO HQ - Paris – France* www.eaume2015.sciencesconf.org

Esculier, F. (2018). *Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : Régimes et transitions socio-écologiques*. Thèse de doctorat de l'université Paris-Est, ENPC. <https://hal.science/tel-01787854>

Friedler, E., Butler, D., Alfya, Y. (2013). Wastewater composition. In: Larsen TA, Udert KM, Lienert J (eds.) *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*. IWA Publishing, London, pp 241–257.

Habets, F., Boé, J., Déqué, M., Ducharne, A., Gascoin, S., Hachour, A. *et al.* (2011). *Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine*. Résultats du projet GICC – RexHySS. Programme Piren-SEINE, AESN, 49 p.

Joveniaux A., Legrand M., Esculier, F., de Gouvello, B. (2022). Towards the development of source separation and valorization of human excreta? Emerging dynamics and prospects in France. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.976624>

Larsen, T. A., Gruendl, H., & Binz, C. (2021). The potential contribution of urine source separation to the SDG agenda—a review of the progress so far and future development options. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 7(7), 1161-1176.

Legrand, M. & Meulemans, G. 2021. “Bathing in black water? The microbiopolitics of the river Seine’s ecological reclamation”. In Charlotte Brives, Matthäus Rest, Salla Sariola (Dir.). *With Microbes*. Mattering Press.

Legrand, M., Esculier, F. (dir.) (2023). Enjeux réglementaires relatifs à la séparation à la source des urines et matières fécales en vue d’une valorisation agricole. *Arceau Île-de-France*.

Legrand, M., Esculier, F. Tabuchi, J.-P. (dir.) (2021). Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ? *Arceau Île-de-France*.

Legrand, M., Joveniaux, A., Arbarotti, A., de Gouvello, B., Esculier, F., Tabuchi, J.-P. 2021. Séparation à la source et valorisation des excréments humains du Grand Paris : des filières émergentes. *Techniques, Sciences & Méthodes* 2021-9, p.103-118.

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, (2024). *Suivi des émissions de gaz à effet de serre*. Consulté 14 août 2024, <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/suivi-emissions-gaz-effet-serre>

OMS (2012). *Utilisation sans risque des eaux usées, des excréments et des eaux ménagères—Volume 4*. <https://www.who.int/fr/publications/i/item/9241546859>

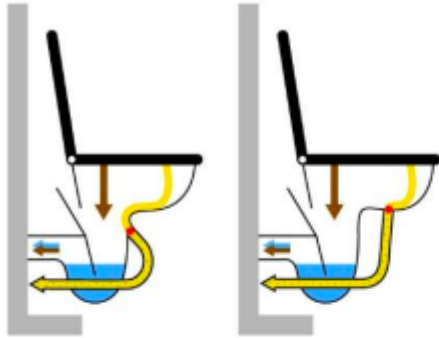
Pinay G., Gascuel C., Menesguen A., Souchon Y., Le Moal M., Levain A., Moatar F., Pannard A., Souchu P. (2017). *L’eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*. Synthèse de l’Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea.

Smil, V. (2004). *Enriching the Earth : Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*. MIT Press.

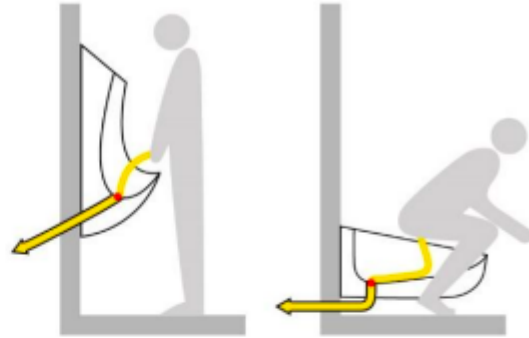
Sutton, M. A. *et al.* (2013). Our nutrient world. The challenge to produce more food & energy with less pollution. *Global Overview of Nutrient Management*.

Weingart (2022), [Les usages urbains de l’urine comme fertilisant. Etude des pratiques de gestion alternative de l’urine par le jardinage dans les sphères domestique et associative d’Île-de-France](#). Mémoire de Master 1 *Urbanisme et aménagement*, Université Paris 1.

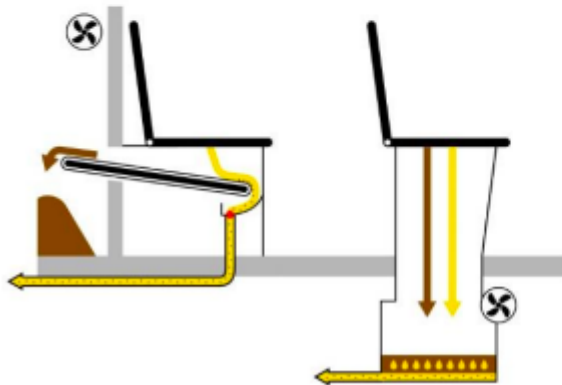
Annexe



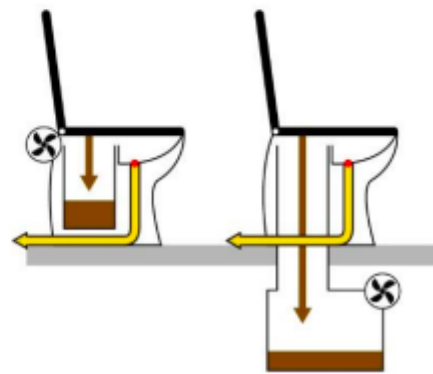
Toilettes à chasse d'eau à séparation



Urinoirs masculin et féminin



Toilettes sèches avec séparation gravitaire



Toilettes sèches avec séparation à la source

Différents types dispositifs de séparation à la sources (Source : Elise Auffray et Florent Brun, 2024)