



HAL
open science

Séparation à la source des excréats : bases pour des règles professionnelles

Florent Brun, Fabien Esculier, Bernard de Gouvello

► **To cite this version:**

Florent Brun, Fabien Esculier, Bernard de Gouvello. Séparation à la source des excréats : bases pour des règles professionnelles. Techniques de l'Ingénieur, 2024, GE1029v1, 10.51257/a-v1-ge1029 . hal-04598226

HAL Id: hal-04598226

<https://hal.science/hal-04598226>

Submitted on 4 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Version : postprint

Séparation à la source des excréments : bases pour des règles professionnelles

Source separation for excreta : Bases for professional rules

par

Florent Brun

Ingénieur de recherche, doctorant en sciences de l'ingénieur et de l'environnement
LEESU, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Creteil, Marne-la-Vallée, France

Fabien Esculier

Chercheur
LEESU, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Creteil, Marne-la-Vallée, France
METIS, Sorbonne Université, CNRS, EPHE, Paris, France

Bernard de Gouvello

Directeur de recherche
Groupe TEAM - Département Ville Durable - Cerema Ile-de-France - Trappes, France

Résumé

Cet article aborde la séparation à la source des urines et matières fécales en France dont le déploiement s'intensifie depuis le début des années 2010. Il présente un état des lieux en France et à l'international des modes de gestion des excréments humains en dehors de la filière « eau ». Après avoir abordé les enjeux associés à l'environnement et à la réglementation de telles pratiques, les principes de fonctionnement et de mise en œuvre sont détaillés en s'appuyant sur 4 exemples de filières. Enfin, sont abordées, au regard de la montée en puissance de ce sujet, les questions à se poser pour déployer ces installations et les perspectives associées.

Abstract

This article discusses source separation of urine and faeces in France, which has been increasingly deployed since the early 2010s. It presents an overview of the current state of affairs in France and abroad regarding the management of human excreta outside the "water" sector. After addressing the environmental and regulatory issues associated with such practices, the principles of operation and implementation are detailed based on 4 types of installations. Finally, in view of the growing importance of this issue, we look at the issues that need to be addressed in order to deploy these facilities and the associated prospects.

Mots-clés :

Séparation à la source, excréments, filière, exploitation

Keywords :

Source separation, excreta, valorization chain, management



Table des matières

Introduction	3
1 Etat des lieux de la séparation à la source	4
1.1 Genèse de la séparation à la source (jusqu'aux années 2000)	4
1.2 Etat de l'art à l'international depuis 2007	7
1.3 Evolutions en France depuis 2007	8
2 Situation réglementaire en France	10
2.1 L'arrêté du 7 septembre 2009	11
2.2 Absence d'une réglementation idoine	13
2.3 Normes et brevets	14
2.4 Perspectives pour l'utilisation en agriculture des excréments	14
3 Principes de fonctionnement	15
3.1 L'Interface usager	16
3.2 Collecte et Transport	18
▪ Urines et lixiviats	19
▪ Matières solides	20
3.3 Traitement	21
▪ Urines	21
▪ Matières solides	22
3.4 Valorisation	23
4 Exemples de filières et préconisations d'exploitation	25
4.1 Gestion des matières de toilettes non reliées à un composteur	25
4.2 Gestion des matières de toilettes reliées à un composteur	26
4.3 Gestion de lisain issu d'un bâtiment recevant du public	28
4.4 Gestion des eaux ménagères	31
4.5 Exploitation et maintenance	34
5 Déploiement de la séparation à la source des excréments	37
5.1 Perspectives de développement en France	37
▪ Des retours d'expériences variés et prometteurs	37
▪ Des points d'achoppement connus	38
5.2 Critères de choix	39
5.2.1 A l'échelle des filières individuelles ou de bâtiments collectifs	39
5.2.2 A l'échelle de filières de quartier(s) ou d'une ville	40
6 Conclusion	42
7 Glossaire	43
8 Sigles, notations et symboles	44



Introduction

La séparation à la source consiste à séparer les flux entrant usuellement dans les réseaux d'eaux usées depuis le foyer. A l'instar du tri sélectif pour les déchets, il s'agit de collecter séparément les différents intrants des eaux usées afin de proposer des traitements simplifiés (technique, consommation énergétique et coût) et des voies de valorisation des composants présents dans chacun des flux. Les principaux bénéfices résident dans la protection de la ressource en eau, le retour au sol agricole des nutriments et de la matière organique en limitant les impacts sanitaires et environnementaux. Cet article sur la séparation à la source des excréments se place dans une perspective du retour au sol agricole des nutriments et de la matière organique plus que dans la protection de la ressource en eau qui est par ailleurs déjà largement traitée. A ce titre, la valorisation énergétique associée aux excréments humains ne sera pas traitée. Quant à la séparation à la source des eaux ménagères, celle-ci sera abordée uniquement par le prisme d'une obligation de gestion de ce flux dès que la séparation à la source des excréments est mise en place.

La pratique traditionnelle des toilettes sèches n'a jamais totalement disparu. En effet, un regain d'intérêt associé à une diversification des pratiques est observable depuis le milieu des années 1990 [1]. Il s'agit d'une tendance qui prend de plus en plus de poids tant en France qu'au niveau mondial. En s'appuyant sur des pratiques événementielles de plus en plus répandues et un déploiement à l'échelle des foyers ruraux, des acteurs de terrain français réunis en réseau favorisent l'émergence d'une dérogation réglementaire à ce sujet en 2009.

Dans la mise en œuvre pratique, il convient de concevoir les dispositifs de séparation à la source des excréments en prenant en compte toutes les étapes composant la filière de gestion des matières jusqu'à leur retour au sol. L'agencement de l'ensemble des étapes de cette filière qu'elle soit à petite (habitat individuel - ménage), à moyenne (immeuble – habitat collectif) ou à grande échelle (plusieurs bâtiments au sein d'une ou plusieurs villes avec un service dédié) nécessite le respect de prescriptions techniques pour s'assurer de son bon fonctionnement. Ces prescriptions existent dans différents documents de référence qui, avec le présent article, contribuent à produire des règles professionnelles.

En effet, cet article se base sur l'état des connaissances actuelles des techniques de séparation à la source des excréments. L'objectif poursuivi ici est de répondre aux besoins d'un large public de professionnels et du monde académique, de disposer de connaissances pratiques sur la conception et l'exploitation de telles filières. Pour cela, l'article est décomposé en 5 parties, la première dresse un état des lieux de la séparation à la source en France et dans le monde avec une formalisation des termes employés. Une seconde partie traite des enjeux réglementaires et environnementaux. Dans la troisième partie, sont décrits en détail les principes de fonctionnement de la séparation à la source des excréments avec une approche filière. La quatrième partie est dédiée à une description plus précise des 4 filières les plus présentes sur notre territoire. Enfin, la dernière partie aborde les perspectives et les moyens de déploiement pour un passage à grande échelle avec un service dédié de gestion collective des matières.

Une filière est un ensemble d'étapes qui mobilise différentes techniques pour gérer le flux d'une ou plusieurs matières. La gestion de ces étapes est confiée à un ou plusieurs acteurs. Dans cet article, le terme de filière est convoqué pour gérer les flux d'excréments

humains depuis leur excrétion du corps humains jusqu'à leur devenir dans les sols agricoles.

1 Etat des lieux de la séparation à la source

La séparation à la source est aujourd'hui une approche de la gestion des eaux usées qui est mise en avant par beaucoup d'opérateurs. Elle est présentée tantôt comme une démarche innovante tantôt comme un « retour à la cabane au fond du jardin ». Il est important de souligner d'un côté la prise en compte du concept par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et d'un autre que les pratiques de séparation à la source reposent sur le tri des eaux usées. Aussi, pour dresser un état des lieux de la séparation à la source, il est nécessaire de regarder les visions déployées autour du concept (§1.1), d'observer le développement du sujet auprès de nos voisins (§1.2), avant d'aborder plus en détail son déploiement en France (§1.3)

1.1 Genèse de la séparation à la source (jusqu'aux années 2000)

Les communautés humaines ont développé historiquement une très grande variété de modes de gestion de leurs excréments. Ceux-ci incluaient plus ou moins de circularité dans la gestion des nutriments [1].

Depuis la révolution néolithique et jusqu'à la révolution industrielle, la majorité de l'humanité est paysanne. Les excréments humains, dans de nombreux contextes, ont été gérés de manière similaire à celle des excréments animaux, avec des pratiques de retour au sol. Avec la révolution industrielle, il se produit un triple mouvement d'urbanisation, d'industrialisation et de développement de l'hygiénisme. L'adduction de grandes quantités d'eau en ville est organisée, de même que son évacuation par les égouts. Dans les premiers temps de la révolution industrielle, la valorisation agricole des excréments humains s'intensifie et des techniques de plus en plus élaborées de gestion, transformation et valorisation des excréments humains sont développées, la plupart du temps avec séparation à la source [2]. Toutefois, la révolution industrielle se prolonge par la mise à disposition de grandes quantités de ressources fossiles (ressources minières, hydrocarbures...), qui ont progressivement évincé les filières de valorisation agricole des excréments humains par la domination de la fertilisation agricole basée sur des ressources fossiles. Les grandes quantités d'eau acheminées en ville ont rendu techniquement possible le développement des toilettes à chasse d'eau et, les excréments humains n'étant plus perçus comme des ressources agricoles mais uniquement comme des matières à évacuer de la ville, la modalité dominante de gestion urbaine devient le tout-à-l'égout, c'est-à-dire le mélange dans les égouts des excréments humains avec les autres eaux produites par les villes, à savoir les eaux ménagères, les eaux pluviales et les eaux industrielles.

Les maisons isolées des campagnes restent, quant à elles, équipées de latrines jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, avant la diffusion des fosses septiques. La loi sur l'eau de 1964 participe au déploiement de solutions d'assainissement des eaux usées. Alors qu'en milieu urbain, la séparation à la source est délaissée au profit d'une gestion unitaire par les réseaux d'égouts au cours du XX^{ème} siècle, en milieu rural la gestion des eaux usées domestiques repose encore souvent sur la séparation des eaux vannes issues des toilettes et des eaux ménagères issues des autres sources d'émission au sein du foyer. Cette approche était principalement sanitaire, car les eaux vannes étaient considérées alors comme plus dangereuses [3]. Ainsi, des latrines ou

4



toilettes sèches continuent d'être utilisées dans les campagnes.

Latrines, toilettes sèches ou fosses septiques gardaient la possibilité de valoriser les matières au champ ou au jardin. Il s'agissait déjà des différentes déclinaisons techniques connues aujourd'hui sous le terme de séparation à la source des excréments. Ainsi, la séparation à la source des excréments propose différentes techniques qui reposent sur le constat que les urines et les matières fécales représentent environ 1 % du volume des eaux usées domestiques [3] mais contiennent la majorité de ce qui génère la pollution des eaux aquatiques ou permet la fertilisation des champs. Il s'agit ici des **nutriments** et en premier lieu de **l'azote** et du **phosphore**.

La séparation à la source consiste à séparer au moins l'un des intrants de nos eaux usées (urine, matières fécales, eaux ménagères) dès sa production dans le but de mieux valoriser les composés présents (eau, nutriments, matière organique, chaleur).

Afin de distinguer la part séparée, seront précisés dans l'article **séparation à la source des excréments et séparation à la source des eaux ménagères** au fur et à mesure des besoins si le terme générique n'est pas suffisant.

C'est plus récemment, à partir des années 1990, que se formalisent en France différentes approches de la séparation à la source des excréments. Alors que les latrines tendaient à disparaître, la pratique des toilettes sèches réapparaît avec des solutions améliorées comme le montre le déploiement des **toilettes à litière biomâtrisée** au cours des années 2000. Ces évolutions peuvent être mises en relation avec l'émergence des questions environnementales dans la société. Des sujets comme les économies d'eau ou la volonté de ne pas diffuser les germes potentiellement pathogènes contenus dans les excréments sont souvent mis en avant par les particuliers ayant recours à la séparation à la source des excréments.

Joseph Országh, chercheur à l'Université de Mons-Hainaut et représentant des Amis de la Terre à la Commission des Eaux de la Région Wallonne, développe le concept de **l'eautarcie** qui propose d'appliquer la séparation à la source de manière globale à l'échelle d'un ménage (voir « Pour en savoir plus », rubrique annuaire). Il traduit sa démarche notamment par la récupération de l'eau de pluie mais aussi par la séparation à la source des excréments (urines et matières fécales). Selon lui, ces matières doivent être gérées conjointement grâce à des Toilettes à Litière Biomâtrisée (TLB). Les eaux ménagères sont alors traitées par photo-épuration ou épandues sur le sol en place avec ou sans broyat de bois. Les travaux de M. Országh sont largement diffusés et repris dans des réseaux associatifs francophones assurant la promotion de l'assainissement écologique. C'est sous cette influence, que la TLB se répand en France à la fin des années 1990. Puis, au cours des années 2000, c'est grâce notamment au déploiement, lors de festivals, de toilettes sèches mobiles basées sur le principe de la TLB, que celles-ci trouvent un écho au sein d'une population militante et plutôt rurale. Les toilettes sèches mobiles véhiculent ainsi un modèle particulier de séparation à la source des excréments par le biais de démonstrations *in situ* lors d'évènements où chacun peut les utiliser. La simplicité d'implantation et d'exploitation de ce dispositif (§4.1) joue en faveur de sa diffusion.

D'un autre côté, c'est la séparation à la source des urines qui prend de l'ampleur dans les pays du nord de l'Europe comme en Suède ou au Danemark depuis les années 1990. Le constat est fait que l'eutrophisation croissante des masses d'eau est entre autres due à des systèmes d'assainissement qui diffusent l'azote et le phosphore dans

le milieu naturel. Or, ces nutriments se concentrent particulièrement dans les urines (Figure 1) avec 79 % de l'azote, 53 % du phosphore et 58 % du potassium [1]. L'extraction de ces nutriments et de la matière organique des eaux usées est l'objet même de l'existence des stations d'épuration alors qu'ils représentent aussi des fertilisants pour l'agriculture. Les toilettes à séparation à la source des urines (§3.1 et §3.2) qui permettent d'extraire les urines des réseaux se développent alors. De nombreux projets de lotissements déployant des toilettes à séparation d'urine voient le jour en milieu urbain. Dès lors, des institutions de recherche, comme le Stockholm Environment Institute (SEI), réalisent des recherches sur la séparation à la source des urines à différents niveaux de la filière que ce soit pour la collecte, pour le traitement ou à propos de la valorisation agricole. La Suède semble ensuite avoir particulièrement orienté ses travaux sur la séparation à la source de l'urine dans une logique de circularité [4].

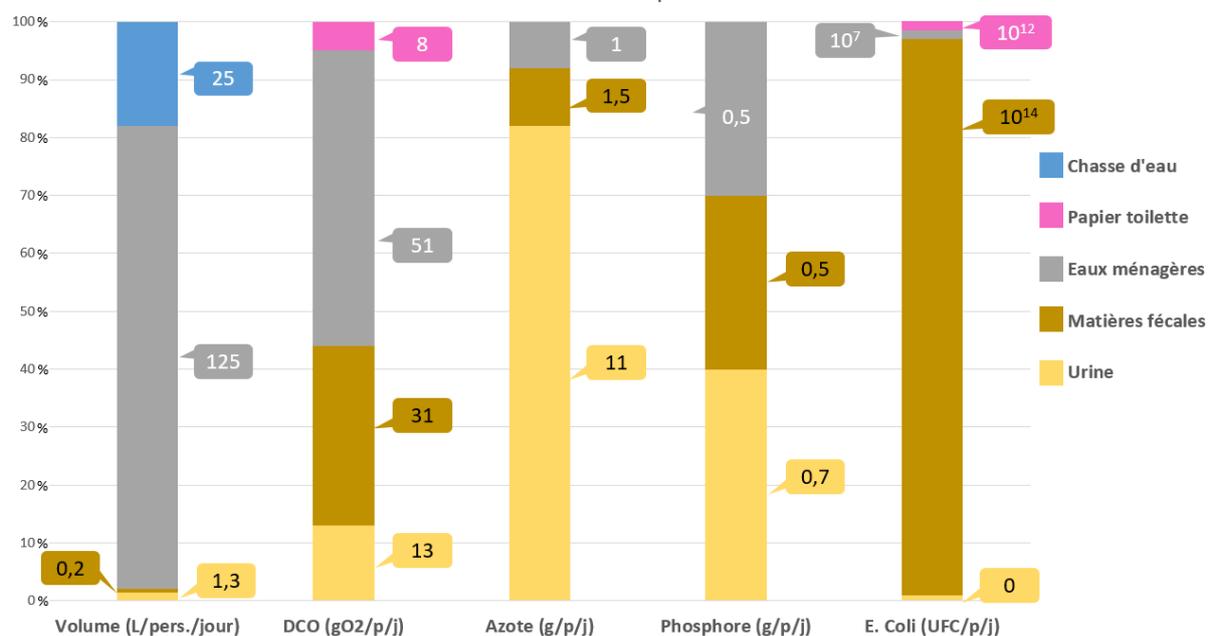


Figure 1 : Caractérisation des flux séparés à la source. D'après [3]

Ainsi, depuis la fin des années 2000, la séparation à la source des excréments s'est diversifiée en termes de solutions techniques que ce soit sur une collecte unitaire ou séparative des urines et matières fécales. Ces choix techniques reposent aujourd'hui plus sur les contraintes de mise en œuvre. Celles-ci concernent l'implantation dans le bâti mais aussi les modalités d'usage, d'entretien, d'exploitation ou du devenir des matières collectées. **La recherche d'économie de l'eau, de réduction des pollutions aquatiques, du développement des sols vivants ou de la circularité des nutriments**, sont autant de sujets qui sont saisis par les opérateurs qui décident de mettre en place la séparation à la source des excréments. Face à ces choix, ils doivent aussi faire face à la gestion des eaux ménagères, aussi appelées eaux grises [W6700].

Alors qu'un cercle réduit de convaincus plus ou moins isolés pratiquaient la séparation à la source des excréments en France dans les années 1990, c'est dans les années 2000 qu'un réseau d'acteurs promoteurs de ces solutions s'est structuré. Ainsi, le Réseau de l'Assainissement Ecologique (RAE) œuvre depuis 2006 à formaliser et à diffuser les pratiques de séparation à la source des excréments. Le réseau compte une centaine

de membres organisés autour de 6 thématiques : location et animation de toilettes sèches mobiles ; bureau d'étude et installation d'assainissement écologique ; construction, distribution, installation de toilettes sèches ; formation et promotion de l'assainissement écologique ; enseignement et recherche ; et usagers.

1.2 Etat de l'art à l'international depuis 2007

Alors que la Scandinavie a déjà été évoquée comme étant au cœur du déploiement récent de la séparation à la source des excréments, l'institut de recherche Suisse Eawag à Dübendorf participe également au sujet depuis plusieurs années. Plusieurs études et documents de références permettent d'aborder la séparation à la source des excréments au niveau mondial [3,5,6,7]. Au-delà des aspects techniques de mise en œuvre, des thématiques corrélées émergent comme étant primordiales. Ainsi, les enjeux relatifs **au bouclage du cycle des nutriments en minimisant les pertes, les interrelations entre les filières d'assainissement et de fertilisation et les enjeux sociotechniques associés au déploiement de ces filières** deviennent des sujets à traiter pour garantir des filières soutenables.

A l'instar du RAE, plusieurs réseaux nationaux de professionnels et d'instituts de recherche existent aujourd'hui. En Europe, il existe deux autres réseaux formalisés : le réseau Suisse Valoo et le réseau allemand Netsan. Ces réseaux, dont l'émergence est plus récente (Netsan en 2018 et Valoo en 2021), représentent chacun une centaine d'adhérents avec là aussi des profils hétérogènes comme des maîtres d'œuvre, des constructeurs, des loueurs, des instituts de recherche, etc. Ces acteurs s'associent pour partager leurs expériences et assurer des actions de plaidoyer notamment auprès des pouvoirs publics pour une meilleure reconnaissance réglementaire de la séparation à la source des excréments et une transformation des politiques publiques en la matière. Une coordination des différents réseaux nationaux est en cours pour assurer un plaidoyer commun auprès de la commission européenne.

Au niveau supranational, l'alliance pour l'assainissement soutenable « Susana » est un réseau créé en 2007 qui regroupe aujourd'hui plus de 400 membres investis dans 13 groupes de travail. Le secrétariat de ce réseau est assuré par une équipe de la coopération allemande associée à l'agence de coopération suédoise dépendant du ministère des affaires étrangères. Le Stockholm Environment Institute (SEI) est à l'origine du programme de recherche Ecological Sanitation Research (dit « EcoSanRes ») qui œuvre à diffuser à l'international l'expérience suédoise en termes de bouclage du cycle des nutriments [3,8]. Ainsi, Susana vise à développer et promouvoir des systèmes d'assainissement durables dont la majorité est basée sur la séparation à la source des excréments. Les projets visent les populations défavorisées à travers le renforcement des capacités et le développement des connaissances. Le site dispose d'une base de données multimédia de partage de connaissances (méthodes, outils, rapports de recherche, fiches techniques) très complet et d'un forum dynamique. Il permet de constater la vitalité de ce sujet sur l'ensemble du globe avec plus de 5000 projets référencés.

De nombreux documents techniques sont publiés et mis en ligne sur les sites internet de ces différents réseaux qui collaborent entre eux pour harmoniser leurs productions et leurs plaidoyers. Ainsi, plusieurs retours d'expériences de projets pilotes sont mis en exergue sur ces sites grâce à l'élaboration de fiches techniques qui recensent les

choix faits, les difficultés rencontrées et les réponses apportées. Parmi les projets décrits, il est possible de mentionner ceux emblématiques, par leur innovation et leur envergure, de la Coopérative Equilibre en Suisse (développement milieu urbain), le projet Vuna en Afrique du Sud (création d'urinofertilisant) ou le projet pilote TepozEco urban ecosan à Tepoztlán au Mexique (mise en place de filière). Ces projets sont consultables sur la plateforme internet Susana (voir « *Pour en savoir plus* »).

Plusieurs freins sont identifiés de manière récurrente à l'émergence de tels projets. En particulier, la méconnaissance du pouvoir fertilisant des urines et dans une moindre mesure du maintien des sols par la matière organique des excréments. Ce constat associé aux tabous liés aux aspects socio-culturels de la gestion des excréments rend difficile l'alignement sociotechnique d'acteurs issus de cultures professionnelles différentes pour faire émerger ces nouvelles filières. Ce sont les freins majeurs au bouclage du cycle des nutriments. Enfin, l'hétérogénéité des réglementations qui sont propres à chaque pays mais souvent peu claires en ce qui concerne la gestion des excréments en dehors des filières liées à l'eau constitue aussi un frein majeur. D'un autre côté, l'émergence des préoccupations environnementales au sein de la population, due notamment aux difficultés d'accès à la ressource en eau et aux engrais incite les populations et les décideurs à s'intéresser à la séparation à la source des excréments. Au regard des Objectifs du Développement Durable (ODD 2015-2030) de l'Organisation des Nations unies (ONU), la séparation à la source des excréments répond directement à plusieurs d'entre eux (n°2, 3, 5, 6, 12, 13, 14) en favorisant la restauration des cycles des nutriments, la protection de la ressource en eau, l'accès à des fertilisants produits localement, en offrant des toilettes accessibles à toutes et à tous et en luttant contre le réchauffement climatique. Ainsi, les agences de l'ONU qui se chargent de l'assainissement recommandent la séparation à la source des excréments. En réponse aux Objectifs du Développement Durable, Celle-ci permet via différentes techniques simples et appropriables de limiter les contaminations dues à la défécation à l'air libre qui concerne encore aujourd'hui plus de 600 millions de personnes. Alors que la décennie pour l'eau déclarée par l'ONU (2018-2028) est en cours, des documents cadres comme le Rapport ONU-EAU (2017) insistent sur la réduction de la pollution à la source et la récupération des matières utiles en accord avec les principes de la séparation à la source des excréments.

1.3 Evolutions en France depuis 2007

L'association française Toilettes Du Monde a participé à la diffusion de la séparation à la source des excréments dès 2007 en organisant des voyages d'études en Allemagne (2008) et en Suède (2009) puis en participant avec le RAE à un plaidoyer auprès des Ministères de l'environnement et de la santé en charge d'encadrer l'assainissement. Ainsi, à partir de 2009, la réglementation a un effet levier important dans le déploiement de la séparation à la source des excréments par les toilettes sèches (§2.1). Les années qui ont suivi, plusieurs structures, dont la majorité est adhérente du RAE, se chargent d'accompagner les particuliers, les bureaux d'étude et les collectivités sur les aspects de maîtrise d'œuvre relatifs aux toilettes sèches mais aussi sur les responsabilités incombant aux maîtres d'ouvrage. En particulier, des formations sont dispensées auprès de plusieurs Services Publics d'Assainissement Non Collectif (SPANC) et de leurs têtes de réseaux au sein des départements mais aussi auprès d'associations de l'habitat écologique démultipliant les compétences auprès de particuliers. Les assises annuelles de l'Assainissement Non Collectif (ANC), devenues les carrefours des

gestions durables de l'eau, et les plateformes web dédiées aux techniciens des collectivités comme IdéalCo viennent appuyer l'offre de formation. Lors de la décennie 2010-2020, le terme de séparation à la source des excréments est encore peu employé au profit du dispositif technique que sont les toilettes sèches. Constat est fait que lors des formations des questions plus relatives à une information générale sur les installations de toilettes sèches ont laissé place au fil des années à des questions très techniques et ciblées sur leur mise en œuvre. Bien souvent, les réflexions restent centrées sur l'interface usager, à l'image de la réglementation, en omettant les filières aval de gestion, le bouclage du cycle des matières et nutriments et l'étape du retour au sol.

De 2012 à 2017, plusieurs études sur des solutions de séparation à la source ont été co-portées par le RAE et Toilettes Du Monde. Ces études ont été financées par les pouvoirs publics (Ademe, Agences de l'eau et Ministère de l'environnement) et traitent des impacts sanitaires et environnementaux des toilettes sèches à litières domestiques (couramment appelées TLB en référence aux toilettes à litières biomaitrisée), des toilettes sèches mobiles et de 3 filières de traitement des eaux ménagères. Leurs résultats sont originaux car issus du terrain avec une méthodologie adaptée et basée sur du suivi *in situ* d'installations en fonctionnement. Ces études ont bénéficié d'accompagnements par des laboratoires publics de recherche (respectivement IGE Grenoble, Deep-INSA de Lyon, Leesu-ENPC et Reversaal-INRAE). Elles ont participé à diffuser la séparation à la source auprès du grand public et de la recherche grâce à la création de plaquettes détaillées pour la bonne mise en œuvre et l'exploitation des toilettes sèches. Elles mettent également en avant la nécessité d'une approche sociotechnique avec les acteurs dans la mise en place de telles filières.

Dès 2014, l'École des Ponts ParisTech s'implique à étudier la séparation à la source et le bouclage du cycle des nutriments par une approche issue du métabolisme urbain grâce aux travaux de Fabien Esculier [1]. Petit à petit, l'urine est perçue autrement par les institutions et acteurs opérationnels du secteur de l'assainissement. Ils découvrent alors l'importance des nutriments présents dans l'urine mais aussi les multiples filières envisageables.

En parallèle de l'émergence du sujet du bouclage du cycle des nutriments par la collecte de l'urine, il y a la montée en puissance du compostage des déchets organiques ménagers, du jardinage, du paillage et de la permaculture marquée par la création du Réseau Compost Citoyen (RCC) en 2010 et la diffusion des pratiques au sein des collectivités à travers la circulaire du 13 septembre 2012 relative aux règles de fonctionnement des installations de compostage de proximité. Certains membres du RCC s'intéressent alors à la gestion des excréments humains. En effet, la présence d'un module (Guide-Composteur n°25) co-construit entre le RAE et le RCC dans le parcours de formation « prévention et gestion de proximité des biodéchets » reconnu par l'ADEME facilite progressivement la prise en considération des excréments humains par le monde du compostage. Probablement, la loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire - qui oblige les collectivités à offrir une possibilité de tri des biodéchets à tous les ménages - aura un effet incitatif sur la séparation à la source des excréments.

Depuis 2019, le programme OCAPAPI - pour Organisation des cycles Carbone, Azote et



Phosphore dans les territoires - initie un groupe de travail au sein de l'association Arceau Ile-de-France. Ce groupe de travail permet aux professionnels de la séparation des eaux usées de se regrouper et de partager leurs expériences [3]. Ainsi, les différentes entrées pour mobiliser le grand public à la séparation à la source vont se trouver combinées. L'entrée historique des économies d'eau potable est mise en exergue par les sécheresses récurrentes faisant tension sur la ressource bien qu'elles étaient déjà observables avant 2020. L'entrée compostage continue à se développer et à s'affirmer en lien avec la dynamique autour de la reconstitution des sols vivants. Enfin, plus récemment, l'entrée nutriments-fertilisation avec la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore, mobilise progressivement à la fois les milieux écologistes militants, les institutions dont les collectivités avec Paris et Lyon et le monde agricole *via* certaines chambres d'agriculture. Cet intérêt croissant est notamment dû à une mise en lumière récente du sujet dans les médias grâce à des actions d'animation de la recherche autour du programme OCAPI mais aussi grâce à la mise en place de nouveaux guichets de financement. En effet, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie soutient depuis 2018 via son 11^{ème} programme d'intervention (2019-2024) jusqu'à 80% les projets de mise en place de dispositifs de séparation à la source dans les bâtiments collectifs. Il s'agit du premier guichet d'aide public dédié spécialement aux projets de séparation à la source.

À retenir

- La séparation à la source est un concept proche du tri sélectif des déchets. En triant les matières, il est possible de proposer des filières de valorisation optimisées.
- Nombre d'acteurs internationaux et français s'intéressent à la séparation à la source et au déploiement de solutions techniques associées. Ces dernières reposent sur une approche « filière ».
- La séparation à la source des excréments répond à des préoccupations de protection de la ressource en eau, du retour au sol des nutriments et de la matière organique dans le respect des cycles de l'azote et du phosphore.
- La séparation à la source des excréments se traduit essentiellement aujourd'hui en France par le déploiement de toilettes sèches chez les particuliers ou en événementiel et par une croissance de projets à plus grande échelle avec une collecte sélective des urines.

2 Situation réglementaire en France

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a élaboré en 2012 une série de quatre livrets de directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréments et des eaux ménagères abordant des recommandations politiques, réglementaires et techniques. Ces livrets, et en particulier le n°4, abordent la séparation à la source et les modalités d'utilisation des matières et eaux ménagères collectées en agriculture. Au regard de ces travaux, il est possible d'appréhender l'hétérogénéité des techniques de séparation à la source déployées sur l'ensemble des continents [9]. En France, il est important de regarder le cadre de l'ANC qui est le seul faisant référence à la

10



séparation à la source (§2.1) avant de regarder d'autres réglementations à prendre en compte (§2.2). On abordera ensuite rapidement les normes et brevets dédiés au sujet (§2.3). Enfin, on se concentrera sur le devenir des excréments comme engrais humains en agriculture (§2.4).

2.1 L'arrêté du 7 septembre 2009

En France, la séparation à la source bénéficie d'une sémantique très variée pour désigner la diversité des **flux** et de ses **solutions techniques**. Les flux composants les matières séparées à la source peuvent avoir différentes dénominations que ce soit pour les matières solides (excréments, excréments, fèces, sous-produits, etc.) ou liquides (eaux vannes, eaux noires, eaux jaunes, etc.). La diversité des termes employés, parfois pour désigner des choses similaires, ne favorise pas la bonne compréhension et la diffusion des techniques auprès des professionnels et du grand public. Par exemple, l'emploi du terme de sous-produits ne permet pas d'avoir une référence au fait que les urines et matières fécales soient reconnues comme des déchets ou des ressources. De plus, ces matières n'apparaissent pas dans la classification des déchets de l'Ineris. Leur statut juridique reste ainsi ambivalent si ces matières ne sont pas collectées avec les eaux usées. Face à divers modèles de toilettes qui engendrent une diversité de flux et de manières de les gérer, une harmonisation des termes employés doit permettre de faciliter l'encadrement des pratiques. Le glossaire du présent article vise à harmoniser la sémantique pour ces matières.

Les toilettes sèches ne sont effectivement pas facilement reconnues par les pouvoirs publics. Les urines et matières fécales ont disparu des textes régissant l'ANC entre l'arrêté de 1969 et celui de 1982 devenant implicitement incluses au sein des « eaux usées » [1]. Leur seule occurrence réglementaire revient en septembre 2009 dans l'article 17 qui déroge à l'article 3 de l'arrêté fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅. Aujourd'hui encore, c'est la seule place explicite donnée à une solution de séparation à la source dans le système réglementaire d'encadrement de l'assainissement conventionnel. Cet arrêté intègre donc de manière explicitement dérogatoire des solutions de séparation à la source alors même que la séparation des eaux vannes et des eaux ménagères serait recommandée pour optimiser leur gestion. Deux cas sont prévus : les **toilettes sèches unitaires à compost** et les **toilettes sèches à séparation d'urine**. Les préconisations de mise en œuvre sont les suivantes :

- Un traitement commun avec de la matière organique pour en faire du compost pour des toilettes sèches unitaires ;
- Un traitement séparé composé de (i) déshydratations pour les fèces et (ii) la filière de traitement des eaux ménagères pour les urines des toilettes sèches à séparation d'urine ;
- Une cuve étanche recevant les matières fécales ou les urines ;
- Une aire étanche conçue de façon à éviter les écoulements et à l'abri des intempéries, sur laquelle est vidée la cuve ;
- Une valorisation des sous-produits à la parcelle.

Cet arrêté ne décrit pas exhaustivement le panel et la complexité des techniques de la séparation à la source [9]. En particulier, la gestion des eaux ménagères n'est pas spécialement abordée ni le cas de la collecte séparative des urines alors que

différentes solutions *in situ* pour les eaux usées sont détaillées [TBA2550 V2]. Pour les eaux ménagères, il s'agit de les traiter conformément à l'arrêté, à savoir qu'elles sont considérées comme des eaux vannes. Il n'y a pas encore de dispositif spécifique dédié à celles-ci mais s'il y a une séparation à la source des excréments, il s'avère nécessaire de proposer une solution vertueuse, efficace et adaptée à la nature de ce flux pour leur traitement.

Une expérimentation sur des filtres à broyat de bois (§4.3) est en cours *via* l'arrêté France-Expérimentation du 30 mars 2023 dérogeant au présent arrêté du 7 septembre 2009. Il s'agit de tester *in situ* le traitement à la parcelle des eaux ménagères par Filtre à Broyat de Bois [10]. Alors que les performances hydrauliques ont été démontrées (absence de colmatage et maintien de la perméabilité du filtre dans le temps), cette expérimentation doit confirmer les performances épuratoires du dispositif.

L'arrêté de 2009 a le mérite d'exister. Il est aussi devenu une référence pour les contextes d'assainissement collectif (AC) comme le montre la réponse à la question n° 73941 posée à l'assemblée nationale le 19 avril 2011 qui autorise le déploiement de toilettes sèches y compris en AC. Mais ce texte reste inadapté à la gestion de ces matières hors du cycle de l'eau, pour une utilisation en agriculture et à grande échelle [11]. En effet, subsiste dans ce texte une obligation du traitement au sein de la parcelle où elles ont été produites. Cette situation freine considérablement les projets collectifs. Cette transposition d'une réglementation de l'ANC à un contexte urbain en AC est un frein à la mise en place de filières de séparation à la source des excréments exportant les matières. Cette interprétation des textes conduit à bloquer l'accès à des plateformes de compostage collectives, à l'épandage agricole d'urine et d'une manière générale au développement de la séparation à la source des excréments en contexte urbain. Toutefois, des pratiques existent et se développent.

Ainsi, l'arrêté applicable en ANC produit un encadrement qui n'est pas incompatible avec une collecte sélective d'urine mais dont l'interprétation en AC se situe hors de son contexte d'application. En outre, la plupart des réalisations en milieu urbain sont menées à petite ou moyenne échelle alors même que l'analyse juridique de nombreuses situations a permis de conclure à la possibilité de mettre en place ces filières. L'énergie déployée par les porteurs de projet pour interpréter les textes et négocier avec les services des collectivités devient un frein majeur à la poursuite du projet. Ces projets quand ils ne nécessitent pas d'autorisations spécifiques, n'ont pas encore été confrontés à une jurisprudence permettant de mieux analyser le cadre réglementaire applicable [12], caractérisant ainsi davantage un flou réglementaire qu'un empêchement juridique.

On rappelle ici qu'au-delà de 0,5 t, le transport d'excréments suppose **une déclaration de transport pour les déchets non dangereux** dans le respect du code de l'environnement (articles R541-49 à R541-64).

Malgré les travaux de recherche déjà évoqués ici, depuis 2009 l'administration n'a pas pris en main l'encadrement des pratiques de séparation à la source, qui semblent rester à la marge de l'assainissement conventionnel. L'évolution récente de la montée en puissance du sujet semble avoir amené les Ministères de la Santé et de l'Environnement à créer le Groupe de Travail (GT) « économie circulaire » dans le troisième Plan d'Action National pour l'Assainissement Non Collectif (PANANC) en

cours de 2021 à 2025. Ce GT vise à traiter, parmi d'autres sujets, de l'accompagnement au développement de la filière « toilettes sèches ». Cet accompagnement réside dans l'élaboration de guides de conception, dans l'engagement de réflexions sur la gestion des sous-produits, dans le suivi de projets pilotes et d'expérimentations sur le traitement des eaux ménagères.

Suite à l'arrêté sur les prescriptions techniques du 7 septembre 2009 en ANC, un arrêté relatif aux modalités de l'exécution de la mission de contrôle des installations d'assainissement non collectif est publié le 27 avril 2012. Dès lors, les membres du PANANC se sont réunis sous l'égide des Ministères pour rédiger deux guides, l'un à destination des usagers et l'autre à destination des SPANC. Dans ces guides apparaissent des fiches techniques visant à apporter des aides de lecture de la réglementation. L'implantation et le contrôle des dispositifs de toilettes sèches sont abordés dans ces documents.

2.2 Absence d'une réglementation idoine

L'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅, ne fait pas référence à la séparation à la source. Au-delà du cadre dédié à l'ANC, il n'existe pas dans la réglementation générale européenne de référence à la gestion des urines et matières fécales en dehors des eaux usées que ce soit au niveau de la directive relative au traitement des eaux résiduaires urbaines (dites DERU) ou de la directive cadre sur l'eau (dites DCE).

En Assainissement Collectif (AC), les responsabilités quant à la mise en place d'un système de collecte séparatif et de son fonctionnement apparaissent floues aux opérateurs. Notons que sur ce zonage, bien que le raccordement au réseau d'assainissement reste une obligation rien n'interdit le déploiement de la séparation à la source. L'absence d'un cadre réglementaire à appliquer qui autorise clairement cette pratique représente un frein au déploiement de la séparation à la source à grande échelle. En effet, la filière qui est mise en place doit répondre à des cadres de responsabilité aux différentes étapes de gestion de ces matières que ce soit sur le domaine public ou sur un foncier privé. Malgré cela, à moyenne échelle, plusieurs filières voient le jour en France dans des contextes de gestion variés [12]. Le flou réglementaire engendre des ajustements propres à chacune des filières émergentes qui en fait un parcours complexe pour les porteurs de projet. Cette situation a plusieurs effets comme l'abandon de projets vertueux d'un point de vue environnemental, la mise en dormance d'autres projets ou encore la création de projets non déclarés dont les impacts ne sont pas maîtrisés par la collectivité.

Notons ici que le code du travail dans son article R. 4228-11 impose les chasses d'eau pour les sanitaires. Des dérogations ont été obtenues notamment sur des chantiers auprès de l'inspection du travail au cas par cas. Cette situation ne facilite pas la mise en place de la séparation à la source des excréments sur les lieux de travail.

Enfin pour les eaux ménagères et leur réutilisation, il n'existe pas de cadre réglementaire. En revanche, il existe depuis 2015 un avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) sur la réutilisation des eaux grises pour des usages domestiques qui même sans valeur

réglementaire vaut référence. Ce document préconise trois types de réutilisation (alimentation des chasses d'eau des toilettes, lavage des surfaces extérieures sans nettoyeur à haute pression et arrosage des espaces verts) sous réserve que soient respectés des critères de qualité au point d'usage.

2.3 Normes et brevets

Il n'existe pas de norme française spécifique et applicable à la séparation à la source des excréments.

Cependant, en 2016, la fondation Bill and Melinda Gates lance un appel international à projets « The reinvented toilet challenge » dont l'un des buts est la création d'une nouvelle norme (ISO) sur les toilettes « nouvelle génération ». La fondation démarcha l'American National Standards Institute (ANSI) pour que celle-ci puisse bénéficier de la recherche menée par ses lauréats. Ainsi, les travaux ont conduit à la création de la norme ISO 30500 (Systèmes d'assainissement autonomes) soumise à la procédure d'examen systématique de l'ANSI et de l'Association Sénégalaise de Normalisation. Un procédé a été breveté ISO 31800 (Unités de traitement des boues de vidange), il permet le traitement des matières fécales collectées, grâce à des toilettes estampillées ISO 30500. Bien que les normes précèdent généralement les lois et réglementations, elles sont pour l'instant inexistantes en France. Aucune réglementation européenne d'application obligatoire en France quant à la séparation à la source des excréments n'est à recenser, tandis qu'en France certaines entreprises ont déposé des brevets sur leurs toilettes sèches dès les années 1990. On observe ici une privatisation par des brevets et des normes de dispositifs permettant la séparation à la source des excréments indépendamment d'un encadrement réglementaire comme c'était le cas pour la gestion des eaux de pluie dans les bâtiments [GE1031 V1].

2.4 Perspectives pour l'utilisation en agriculture des excréments

Concernant les urines et matières fécales, c'est par un effet double que les bilans environnementaux deviennent intéressants : d'un côté, retirer les nutriments et la matière organique des eaux usées permet de réduire les coûts énergétiques et économiques des usines de traitement ou d'augmenter les durées de vie des infrastructures arrivant en limite de conformité sur les paramètres azote et phosphore, et de diminuer la pollution des milieux aquatiques. D'un autre côté, la mise à disposition d'engrais, en particulier par les filières de collecte sélective d'urine, peut avoir un bilan environnemental meilleur que l'utilisation d'engrais conventionnels [13].

Ainsi, un panel de pistes s'offre aux porteurs de projet pour mettre en œuvre la séparation à la source des excréments en favorisant le retour au sol des nutriments et de la matière organique. A l'échelle individuelle, l'épandage doit se faire sur la parcelle où elles ont été produites, c'est une contrainte dans bien des cas où le foyer ne dispose pas de jardin ou d'espace suffisant pour procéder à l'épandage. A moyenne ou grande échelle d'autres possibilités pourraient être envisagées. La première serait de les associer à un statut de déchet, dont le code INERIS serait à définir et de procéder à un épandage encadré par le code de l'environnement et la loi sur l'eau. La sortie du statut de déchet pourrait passer quant à elle par une autorisation de mise sur le marché ou pour les urines un stockage au sens des préconisations de l'OMS. Pour les excréments, un traitement par compostage en plateforme agréée doit permettre de les associer à un fertilisant avec la conformité à une norme (NF-U42-001, NF-U44-051 ou

NF-U44-095) ou à un règlement européen (n°2019/1009). La mise en conformité grâce à une norme comportant un cahier des charges produit par le Ministère de l'Agriculture, pourrait permettre d'ouvrir rapidement des filières qui seraient en mesure de favoriser le déploiement à grande échelle de la séparation à la source des excréments.

Au regard de l'émergence de la séparation à la source des excréments et de la diversité des pratiques la faiblesse des cadres réglementaires existants permet encore l'innovation. Si cette situation peut générer des réticences à passer à l'acte, elle permet aussi des expériences nouvelles dont les choix sont réalisés en fonction des contraintes rencontrées. Enfin, la poursuite des travaux du GT « Economie Circulaire » du PANANC 3, en lien avec la présente publication, doit permettre d'établir les bases de règles professionnelles dédiées à la séparation à la source des excréments en général et aux toilettes sèches en particulier.

À retenir

- L'arrêté de prescriptions techniques du 7 septembre 2009 relatif aux installations d'assainissement non collectif est le seul texte réglementaire qui encadre explicitement des pratiques de séparation à la source des excréments.
- La plupart des pratiques de séparation à la source des excréments, y compris en ANC, n'ont pas de cadre réglementaire explicite mais de nombreuses pratiques sont juridiquement possibles.
- L'absence d'une réglementation claire et dédiée à la séparation à la source des excréments ne semble pas constituer un frein majeur à la poursuite du déploiement de la technique.

3 Principes de fonctionnement

La séparation à la source vise donc à gérer **les différentes fractions composant les eaux usées domestiques**. Pour cela, **une succession d'étapes** permettent de développer **une filière fonctionnelle** qui permet de gérer les matières dans une perspective de **valorisation**. Ce sont cinq étapes qui, interdépendantes les unes des autres (cf. Figure 2), définissent le contour d'une filière de séparation à la source. Dans ce cadre, un choix formulé par un opérateur (maître d'œuvre, maître d'ouvrage, exploitant, etc.) pour une étape engendre des changements auprès des étapes de la filière situées en amont et en aval. L'étape du transport n'est pas forcément située en seconde position. Elle peut aussi bien être positionnée après le traitement, voire aux deux endroits à la fois. Dès lors, il convient de préciser la composition et l'articulation de ces étapes.

A noter qu'il existe aujourd'hui des constructeurs (professionnels ou particuliers) et des fournisseurs qui déploient des dispositifs en accord avec les règles professionnelles du bâtiment.

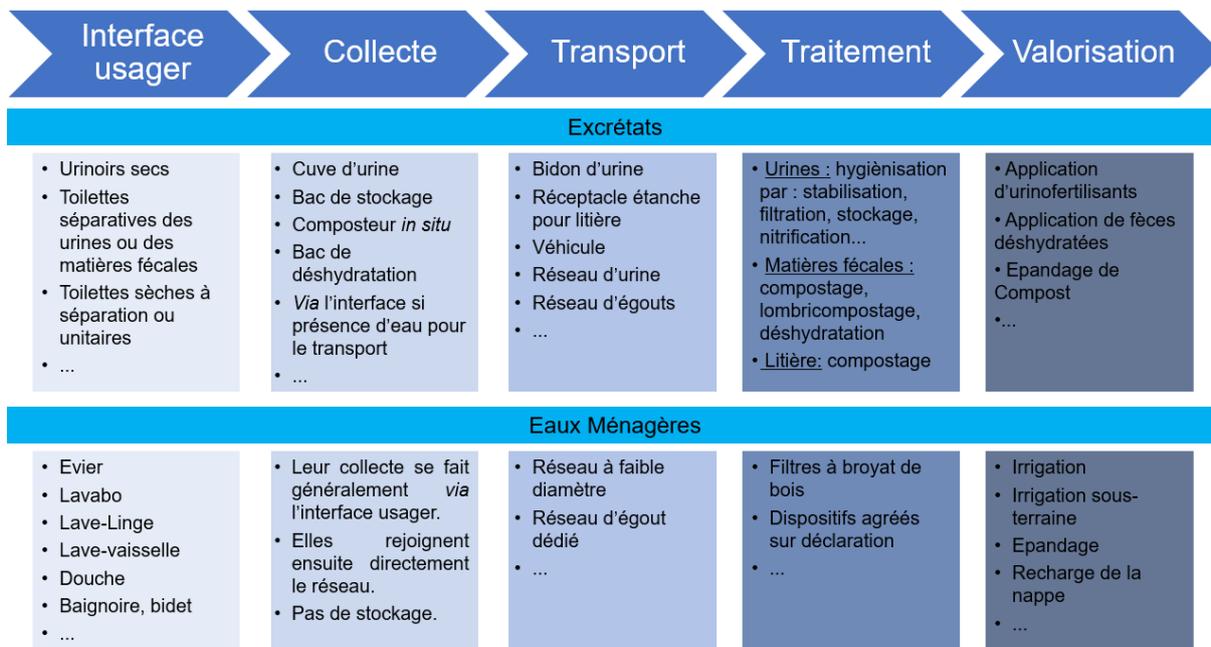


Figure 2 : Exemples de filières de séparation à la source

Le choix est donc fait ici de ne pas faire de focus spécifique sur les principes de la séparation à la source des eaux ménagères. Toutefois, comme toute installation de séparation à la source des excréments nécessite une filière de gestion des eaux ménagères en ANC, un exemple d'installation sera présenté dans la section suivante (§4.4). Ainsi, chaque sous-section de ce chapitre décrit une étape de la filière.

3.1 L'Interface usager

L'interface usager correspond aux objets qui recueillent les effluents des usagers (Figure 2). Pour les excréments, il s'agit des toilettes ou des urinoirs. Pour les eaux ménagères, il s'agit principalement des receveurs de douches, baignoires, lavabos, sorties de lave-linge et de lave-vaisselle, éviers, bidets, siphons de sol...

Dans le contexte de la séparation à la source des excréments, de nouveaux modèles d'interfaces usagers se développent dans le but de collecter séparément les fractions composant les eaux usées (Figure 3). Ainsi, on peut distinguer 4 catégories de séparation à la source des excréments en fonction des flux séparés [3] :

1. **Séparation des 3 flux** : on collecte séparément urines, matières fécales et eaux ménagères. Les toilettes sèches à séparation associés aux interfaces de collecte des eaux ménagères permettent de réaliser ce type de séparation à la source.
2. **Séparation des matières fécales seules** : on collecte les eaux ménagères et urines ensemble et les matières fécales par voie sèche.
3. **Séparation des urines seules** : on collecte d'un côté les urines et de l'autre les matières fécales qui rejoignent grâce à une eau de transport soit le réseau d'eaux ménagères soit un dispositif de traitement dédié comme une fosse septique.
4. **Séparation des excréments et des eaux ménagères** : on collecte grâce à des toilettes sèches unitaires les excréments et, de manière séparée, les eaux

ménagères.

Ces flux peuvent être gérés au niveau de l'assise des toilettes avec un composteur situé à l'extérieur (cas A sur la figure 3), avec un composteur situé sous les toilettes (B) ou derrière les toilettes (C).

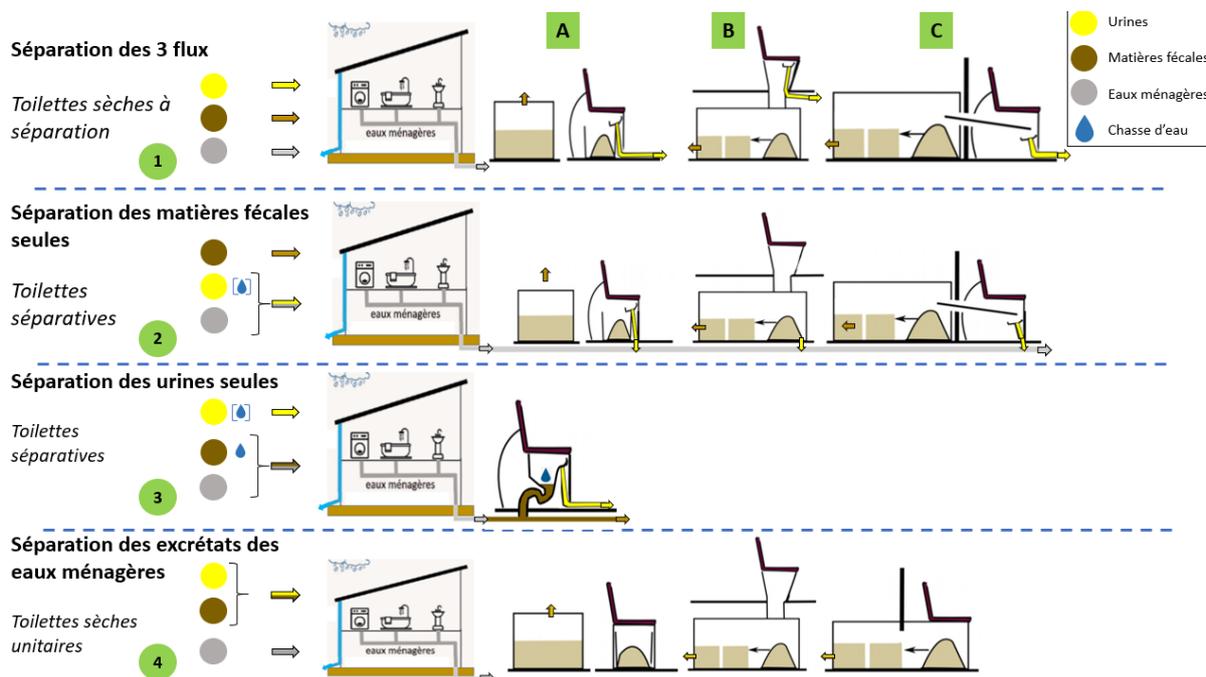


Figure 3 Flux et interfaces de séparation à la source (source : adapté des classifications du RAE et d'Arceau).

Pour les toilettes sèches, certaines sont unitaires (4 : collecte conjointe des urines et matières fécales), d'autres sont séparatives (1 et 2 : collecte séparée des urines et des matières fécales). L'urine peut également être collectée par des urinoirs sans chasse d'eau qu'ils soient féminins ou masculins. Il convient ici de souligner la tendance actuelle au développement d'urinoirs non genrés ou unisexes par plusieurs constructeurs sur le marché.

Certaines toilettes sèches manufacturées sont équipées de dispositifs de traitement décentralisés accolés (§3.3), ce qui réduit à quelques centimètres le réseau de collecte et annule la présence des étapes de collecte et transport avant traitement.

Il est recommandé de disposer des panneaux d'information sur les spécificités d'usage et d'entretien des interfaces usagers non connues du grand public. En particulier si elles demandent des changements de comportements des usagers ou du personnel d'entretien. Il est intéressant dans ces outils d'information d'aborder les objectifs de la séparation à la source et le but recherché par la filière mise en place.

Pour les urinoirs (Figure 4), les matériaux à employer doivent être non corrosifs et ceux-ci doivent être équipés d'un siphon. Il existe plusieurs modèles de siphons secs qui évitent (i) les retours d'air viciés dans la cabine des toilettes et (ii) la dilution de l'urine collectée dans l'eau. Si toutefois l'urinoir dispose d'une chasse, il faut favoriser l'emploi d'une eau non minéralisée, comme de l'eau de pluie, pour limiter les risques d'encrassement des conduites de transport.



(a) Marcelle : urinoir sec féminin



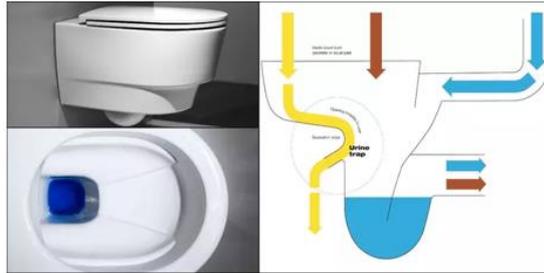
(b) Ti'pi : urinoir sec masculin



(c) Separett - Privy : Kit à séparation des urines pour toilettes sèches



(d) Wostman - Ecoflush: toilette à séparation des urines



(e) Laufen - Save! : WC à séparation des urines

Figure 4 : Exemples d'interfaces usagers pour une collecte séparative des urines

Pour les eaux ménagères, les interfaces sont déjà largement connues des usagers (Figure 3) et n'appellent pas de précision supplémentaire à moins que celles-ci ne fassent aussi l'objet d'une séparation. En effet, Les eaux ménagères peuvent également être séparée en deux catégories selon leur charge : d'un côté les plus faciles à traiter correspondant aux eaux sortant des douches, lavabos, bains et éventuellement lave-linges, et de l'autre les eaux plus chargées comme les eaux de cuisine.

Pour les artisans et professionnels du secteur, la séparation à la source ne déroge ni aux règles professionnelles ni au NF DTU 60.1.

3.2 Collecte et Transport

Les étapes de **collecte et de transport** sont étroitement liées dans la filière.

La collecte vise à rassembler les flux de matières identiques qui sont produits dans un bâtiment, dans un même contenant.

Le transport vise à déplacer les flux de matières dès leur émission dans l'interface usager vers le dispositif de traitement. Cette étape de transport peut être réalisée en amont et/ou en aval de la collecte en fonction des installations. Il existe plusieurs modes de transports comme la canalisation, le déplacement manuel ou le déplacement outillé (véhicule).

Pour les excréments, le mode de gestion de ces étapes est fonction de leur état, liquides ou solides.

▪ Urines et lixiviats

Pour les urines, la gestion du liquide s'appuie sur le principe de l'écoulement gravitaire. Il existe peu d'expériences en canalisation sous pression. Toutefois et si nécessaire, un relèvement par pompage de cuve peut être réalisé. Si la collecte se fait avant le transport (cas 1), celle-ci est généralement réalisée en bidon étanche fermé de 1 à 20L pour un transport manuel. En évènementiel ou dans le bâtiment, des cuves plus grosses peuvent être mobilisées de 200 à 1000L. Ainsi, en fonction du volume collecté, le transport peut être assuré de différentes manières (manuellement, chariot, véhicule) et faire l'objet au préalable d'un changement de cuve grâce à une pompe de type vide-cave. Dans le cas du transport par canalisation avec une collecte en cuve, des précautions sont à prendre dans la conception et l'exploitation du réseau d'urine dans le bâtiment. En effet, l'urine amène un dépôt qui encrasse les canalisations [14] mais aussi des odeurs par dégagements ammoniacaux suite à l'hydrolyse de l'urine. L'hydrolyse est favorisée par une exoenzyme bactérienne, l'uréase, qu'on retrouve de façon ubiquiste dans les canalisations et cuves de stockage. Un basculement de pH grâce à un additif (basique ou acide) en-dessous de pH 4 ou au-dessus de pH 11 permet d'inhiber l'action de cette enzyme. Le dépôt est favorisé en présence d'oxygène et de minéraux comme le calcium et le magnésium.

A ce jour, il apparaît difficile d'identifier clairement les pratiques permettant de garantir l'absence d'encrassement. Toutefois, il est possible de recommander certaines **bonnes pratiques** qui limitent ce phénomène. Il convient d'anticiper, dès la conception des réseaux leur entretien [14]. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter les passages de canalisations dans des zones inaccessibles où le démontage n'est pas possible (dalles, sols, etc.). Si la canalisation de transport d'urine n'est pas en charge, l'urine doit séjourner le moins de temps possible dans celle-ci. Pour cela, il est nécessaire d'avoir des pentes suffisantes (verticales, à défaut >4%) avec des diamètres adaptés et un accès facilité aux tuyaux. Il convient là aussi d'employer des matériaux qui ne s'oxydent pas. Si le réseau est un dispositif en charge (toujours plein d'urine), il faut prévoir une purge. Il est également possible de mettre régulièrement, tous les 10 m environ, des vannes afin de permettre la mise en charge de longueurs de tuyaux avec un produit d'entretien. Les vannes doivent être facilement accessibles et démontables car elles sont les premières à s'encrasser du fait du changement de diamètre. Ce dépôt risquerait de rendre impossible leur manipulation à terme. Une autre solution est de mettre des raccords-unions pour démonter facilement des longueurs de tuyaux. Le diamètre de plomberie préconisé pour le réseau primaire (interface usager – 1^{er} nœud de collecte) est de 50 mm si la pente est supérieure à 2 %, pour le réseau secondaire (1^{er} nœud de collecte – pied d'immeuble) un diamètre de 60 mm, pour le réseau tertiaire (pied d'immeuble – cuve) de 75 mm jusqu'à 110 mm de diamètre hors bâtiment. Il convient de proscrire la circulation d'air permanente dans le réseau par la mise en place d'un clapet adapté.

Pour la cuve des urines, il convient d'employer ici aussi des matériaux non oxydables. En faisant arriver la canalisation d'urine au fond de la cuve, la circulation d'air dans les canalisations est restreinte. La cuve d'urine ne doit posséder qu'une mise à l'air pour équilibrer les pressions sans être ventilée pour minimiser les pertes d'azote et les nuisances olfactives dues à l'ammoniac. L'implantation d'une cuve souple limite les pertes en azote dans le ciel gazeux de la cuve. Le clapet d'équilibre des pressions peut être branché sur la ventilation secondaire du bâtiment. Un trop plein, connecté vers une autre cuve de préférence ou à défaut vers les égouts doit être installé. Il

faudra installer un dispositif de purge de diamètre minimum de 25 mm pour le fond de cuve. Cette dernière peut contenir une boue visqueuse, riche en nutriments, issue du dépôt mentionné précédemment. La cuve est dimensionnée pour une période de stockage pouvant aller jusqu'à un an en contexte urbain dense pour minimiser la logistique de vidange. Le dimensionnement de la cuve pour des urines sans eau de dilution est calculé selon la formule (1).

$$(1) V = 1,5 \times \sum_{i=1}^n C_i \times D / 1000$$

Avec :

V Volume de la cuve en m^3

i Nombre d'individus fréquentant le bâtiment

n le nombre total d'individus fréquentant le bâtiment

C_i Coefficient de collecte estimé en fonction du temps de présence des individus dans le bâtiment. $C = 1$ pour 24h – $C = 0,5$ pour 12h – etc. Ce coefficient peut être surévalué de 0,1 par mesure de sécurité ou plus en présence d'une micro-chasse.

D Durée de base du dimensionnement en jours. $D = 183$ pour 6 mois.

La formule (1) prend en compte plusieurs types d'usages d'un même bâtiment, qu'il soit d'habitation et/ou de bureaux. L'exercice du dimensionnement d'une telle cuve reste difficile du fait de la non-maitrise du comportement des usagers. Elle est ici basée sur une valeur de 1,5 L d'urine produite par individu et par jour qui peut varier suivant les personnes et surtout de la potentielle dilution par des eaux de chasse ou d'entretien.

Dans le contexte de la séparation à la source des excréments, les **lixiviats** sont des urines ayant été en contact avec des matières fécales. Ils peuvent être soit (i) collectés en bidon au pied d'un composteur construit sur une plateforme étanche (§2.1) puis recirculés sur le compost pour en assurer l'humidité, soit (ii) dirigés vers le dispositif de traitement des eaux ménagères.

▪ **Matières solides**

Pour les matières solides, celles-ci peuvent être constituées des fèces avec du papier toilette, mélangé avec une litière de matières carbonées ou avec des urines et une litière de matières carbonées. Ainsi, les quatre catégories de séparation permettent, pour une gestion par voie sèche d'avoir soit (cas A sur la Figure 3) un seau de collecte dans le siège des toilettes soit (cas B ou C) une collecte dans un composteur relié aux toilettes. Pour une gestion par voie humide, (cas 3A) la collecte et le transport se font à l'aide d'une chasse d'eau.

Dans le cas (A), le seau est d'une taille suffisante pour être manipulé. Ici la collecte et le transport sont assurées manuellement (§4.1). Les contenants mobilisés pour la collecte et le transport doivent être étanches, avec un couvercle fixé de manière à empêcher les risques de renversement. Une réserve avec de la litière couvrante et absorbante et une poubelle pour les matières non organiques doivent être présents dans les toilettes. Il convient de recouvrir à chaque passage avec de la litière les matières déposées. Les matières sont vidangées sur une aire de compostage à l'extérieur comme décrite dans l'étape suivante du traitement.

Dans les cas B ou C, le composteur assurant la collecte des matières est relié aux toilettes (§4.2), ainsi il comporte une zone de collecte et le transport est assuré soit par un convoyeur (tapis roulant) soit à l'aide d'un outil manuel dédié (râteau, croc). Le dimensionnement du composteur relié aux toilettes est d'au minimum 1,5 m² au sol. Il doit, pour une famille de 4 personnes, permettre de collecter les matières et de réaliser le traitement en 2 autres zones, l'une de compostage-dégradation et l'autre de maturation. Ce composteur est ventilé dans le respect des normes (NF EN 12599) et règles professionnelles (RE2020) de la ventilation dans les bâtiments. Cette ventilation (Figure 6), en accord avec les ventilations en fonctionnement dans le bâti, permet d'aspirer l'air par le siège des toilettes et de refouler l'air vicié du composteur à l'extérieur du bâtiment.

Dans le cas (3A), la chasse d'eau permet aux fèces et au papier de rejoindre le réseau qui en assure le transport jusqu'à une cuve de collecte de type fosse septique ou une unité de traitement dédiée. Le dimensionnement de ce réseau est généralement d'un diamètre identique aux pratiques pour les eaux usées soit 100 mm dans le bâtiment.

3.3 Traitement

Le « **traitement** » est considéré en fonction du flux collecté. Il vise à maîtriser par un processus, comme la concentration, les impacts sanitaires et environnementaux des matières collectées et à faciliter les autres étapes de la filière (stockage, transport, usage agricole, etc.).

D'un point de vue sanitaire, un objectif du traitement est d'abaisser sous un certain seuil les agents biologiques pathogènes pour limiter les cycles de transmission des maladies. D'un point de vue environnemental, il s'agit de limiter les nuisances en maîtrisant le devenir des nutriments et de la matière organique dans les différents compartiments environnementaux (eau, sol, air).

Il existe, dans le cadre de la séparation à la source des excréments, une gamme variée de procédés plus ou moins complexes pour traiter les flux émis, à cet effet voir le livret IV de l'OMS mentionné précédemment. Ces procédés visent la mise en circularité des nutriments et de la matière organique.

▪ Urines

Le traitement de l'urine conduit usuellement à la production de fertilisants plutôt minéraux d'origine biologique, sous forme solide ou liquide. Ils sont communément appelés urinofertilisant. Il existe 5 grandes familles de procédés de traitement de l'urine :

- **L'hygiénisation par stockage** permet de réduire les risques de contamination lors de l'épandage de l'urine. L'hydrolyse de l'urée qui intervient spontanément induit une libération d'ammoniac significative de perte d'azote et de production d'odeurs. Une augmentation naturelle du pH permet l'hygiénisation des urines stockées en bloquant progressivement cette hydrolyse. Selon les cas, l'OMS préconise un stockage des urines sans nouvel apport pendant 6 mois à 4°C ou 1 mois à 20°C. La matière obtenue est appelée le Lisain [15]. Ce procédé ne nécessite pas d'énergie.
- La **stabilisation** de l'urine est un procédé conservatif de l'azote. Elle permet de limiter l'hydrolyse de l'azote (uréase) en le conservant sous forme d'urée, qui

est majoritaire à l'excrétion et évite sa perte sous forme ammoniacale. Pour cela, le traitement doit être le plus proche possible de la miction et donc de l'interface usager. Il existe trois méthodes. L'acidification à un pH inférieur à 6 par ajout d'un acide et l'alcalinisation à un pH supérieur à 11 par ajout d'une base (chaux ou charbon par exemple) permettent d'inactiver l'uréase. Tandis que, la nitrification se fait par percolation sur charbons actifs où environ 50 % de l'ammonium peut être transformé en nitrate avant d'approcher un pH limitant le développement des bactéries nitrifiantes (autour de 5,5). Ces pH devront être régulées vers un pH proche de 7 avant un apport au sol agricole.

- La **concentration** de l'urine permet d'enlever la part aqueuse de l'urine (95 % de son poids) afin d'optimiser la gestion logistique (transport, stockage et épandage) des nutriments qu'elle contient. Les techniques de concentration sont l'évaporation, la distillation, la congélation-décongélation, les osmose, la lyophilisation et la distillation membranaire.
- L'**extraction** des nutriments de l'urine se fait grâce à l'emploi d'additifs dans l'urine. Par exemple, la struvite est obtenue par précipitation grâce à un ajout de magnésium. Elle est riche en phosphore mais l'azote reste dans la phase liquide. D'autres procédés extractifs existent comme le stripping pour générer du sulfate d'ammonium (solide) ou des nutriments en solution. Ces procédés nécessitent des apports d'énergie.
- Le **traitement des indésirables** est généralement assuré par les procédés d'extraction qui permettent de réduire la contamination en pathogènes ou en résidus de produits pharmaceutiques. Cependant, leur efficacité est très variable en fonction des composés, des organismes pathogènes et des traitements. Par exemple, la nitrification associée à la filtration sur charbon actif augmente la dégradation des résidus pharmaceutiques par rapport au stockage. Parmi les différents contaminants trouvés dans l'urine, les résidus pharmaceutiques semblent être les plus préoccupants en raison de leur potentiel écotoxicologique, de leur possible diversité et de la difficulté à en mesurer les teneurs. Les résidus pharmaceutiques sont présents dans les urines à des concentrations allant de zéro à plusieurs centaines de µg/L et atteignent même des concentrations supérieures à quelques mg/L pour les individus sous traitement. La nécessité de traitements spécifiques pour éliminer les résidus pharmaceutiques avant l'épandage des urines sur les sols fait actuellement l'objet de débats.

Des critères comme la consommation d'énergie et de réactifs ou la présence d'indésirables peuvent être pris en compte dans le choix des traitements à opérer. Également, selon les urinofertilisants, la volatilisation ammoniacale à l'épandage peut être importante, le pH élevé et la teneur en azote ammoniacal étant des facteurs de risque importants. Enfin, l'OMS souligne que la séparation à la source des urines avec valorisation agricole de l'urine hygiénisé sans traitement des résidus pharmaceutiques présente des gains environnementaux plus importants qu'un traitement en station d'épuration. Il n'a pas été identifié de risque majeur d'accumulation d'indésirables dans les sols [16]. Alors que si nécessaire, des traitements spécifiques peuvent en outre être appliqués afin de diminuer les teneurs en indésirables.

▪ **Matières solides**

Le traitement des matières solides permet la production d'amendements organiques.

Le traitement des matières solides s'accompagne d'une forte réduction des volumes de matières collectées car celles-ci sont composées à 80% d'eau. C'est par une combinaison d'intervention sur les paramètres de température, d'humidité, de pH, de compétition biologique et de temps d'exposition que les matières sont assainies. Il existe 3 grandes familles de procédés de traitement des matières fécales :

- **La décomposition** de la matière organique par :
 - Simple **stockage** qui vise à maintenir isolées les matières solides collectées pendant une durée de 2 ans sans nouvel apport ni une quelconque intervention. Au-delà de cette durée, il est considéré par l'OMS que les matières sont hygiénisées et peuvent être épandues.
 - **Compostage** qui est un processus aérobie qui est caractérisé par une montée en température et une succession de 3 phases (dégradation, maturation, minéralisation) [G2060]. Les matières fécales peuvent être mélangées avec d'autres matières organiques (sciure, copeaux, broyats, biodéchets, etc.) pour obtenir, dans de bonnes conditions d'aération et d'humidité, la montée en température qui assurera l'hygiénisation. Réalisé par un professionnel, le compostage, en respectant les normes et bonnes pratiques du métier, permet de traiter les matières solides [17].
 - **Lombricompostage** qui se déroule à froid (20°C) grâce à l'intervention de lombrics coprophages, lesquels réalisent une intervention mécanique dans le tas de matières fécales. Ce tas est ainsi aéré afin de permettre une digestion qui hygiénise les matières fécales grâce au système digestif des vers. Une gestion de la température (entre 15 et 25°C) et de l'humidité est nécessaire au bon développement des lombrics.
- La **déshydratation** est un processus visant à réduire le taux d'humidité à son maximum dans les matières solides collectées afin de créer des conditions défavorables au développement des germes pathogènes. Pour cela, plusieurs procédés peuvent être mobilisés comme la ventilation, le chauffage des matières (solaire de préférence) ou l'ajout d'un matériau absorbant comme la cendre ou la chaux. On parle dans ce dernier cas de traitement alcalin. En l'absence d'urine, ces techniques réduisent les odeurs. Il est utile d'ajouter le matériau absorbant après chaque passage aux toilettes pour plus d'efficacité. Il peut y avoir une combinaison d'effets avec un traitement alcalin qui permet l'augmentation du pH si le matériau absorbant est de la cendre ou de la chaux.
- **L'incinération** complète des matières fécales donne des cendres avec moins de 10 % de carbone et à forte teneur en phosphore, potassium et en oligoéléments. Cependant, l'azote et le soufre sont perdus. La cendre en général (qui peut aussi être ajoutée aux fèces) accroît en outre le pH et la capacité tampon du sol. L'augmentation du pH est particulièrement importante pour les sols à pH très bas (4 à 5) et pour tirer pleinement partie de la fertilisation à l'urine.

3.4 Valorisation

La « **valorisation** » est l'étape permettant de boucler le cycle des nutriments et de la matière organique. La valorisation de ces éléments est favorisée par la séparation à la source des excréments qui évite par leur mélange, la dilution des nutriments et de la matière organique et la contamination de l'eau.

Aujourd'hui, seule une très faible partie des éléments nutritifs contenus dans les eaux usées est valorisée en agriculture. Bien que les boues de stations d'épuration soient valorisées en agriculture à hauteur d'environ 75 % en France, elles ne permettent le recyclage que de 50% du phosphore et 10% de l'azote à l'échelle nationale [18]. La séparation à la source des excréments apparaît comme une solution pour augmenter ces taux de recyclage des nutriments. Il est possible de dresser quelques pistes pour ouvrir ces possibles.

Les différentes modalités de traitement de l'urine et des matières fécales évoquées précédemment permettent d'obtenir des produits avec des niveaux de concentration variés en nutriments.

Pour les urines, lors du projet Agrocapi [16], les différents essais menés en conditions réelles et contrôlées ont mis en évidence une efficacité élevée des urinofertilisants avec une équivalence en azote avec l'engrais de synthèse généralement supérieure à 70-80 %. Cette efficacité est corrélée avec la forte teneur en azote minéral de la majorité des urinofertilisants. Comme pour les lisiers, selon les urinofertilisants, il peut exister un risque de volatilisation de l'ammoniac. Il convient alors d'appliquer les bonnes pratiques déjà identifiées pour limiter la volatilisation (pendillards, épandage lors d'évènements pluvieux ou directement dans le sol avec une herse). Les dosages d'épandage varient en fonction des produits obtenus. Le lisain ayant une concentration d'environ 6 gN/l, pour apporter 100 kilogrammes d'azote à l'hectare (quantité moyenne apportée pour du blé sur un cycle de production), il faudra compter environ 17 m³. A l'échelle individuelle, la valorisation de l'urine correspond à 1 l/m²/an.

Pour les matières fécales, les travaux déjà menés [17] précisent que les composts de toilettes sèches de par leur composition ne peuvent prétendre à être reconnus comme des engrais. Ils sont classés dans la catégorie des amendements organiques moins riches en nutriments. Les documents de l'OMS déjà évoqués ici font le même constat pour les matières fécales déshydratées. Les préconisations d'épandage sont de 3 kg/m².

L'appropriation de l'utilisation de fertilisants à partir d'urines et matières fécales (ou engrais humains) reste une question ouverte. Plusieurs travaux [15] montrent une diversité de positionnement des agriculteurs quant à l'utilisation possible des engrais humains dans leurs systèmes agronomiques. Il semblerait que des urinofertilisants solides pourraient être mieux appréciés que des liquides notamment en fonction de la compatibilité avec les équipements d'épandage disponibles. De plus, la fiabilité de l'organisation de la production et de la commercialisation d'engrais humains est fondamentale et leur reconnaissance réglementaire apparaît nécessaire. De tels projets s'insèrent souvent dans le cadre d'expérimentations.

À retenir

- La séparation à la source repose sur une logique de filière composée de plusieurs étapes : interface usager, collecte, transport, traitement et valorisation.
- Ces étapes sont interdépendantes et conditionnent techniquement les étapes amont et aval.
- A l'image du tri sélectif des déchets, la séparation à la source des excréments des composants des eaux usées permet de générer plusieurs flux de matières comme les urines, les lixiviats et les matières solides.

- Pour chacun de ces flux des dispositifs de traitement dédiés permettent une transformation pour une utilisation des nutriments et de la matière organique.

4 Exemples de filières et préconisations d'exploitation

Le choix a été fait de présenter dans un premier temps deux installations rustiques répandues sur le territoire français et dont la conception impacte peu l'environnement. Ces installations de séparation à la source des excréments peuvent être auto-construites, manufacturées ou construites par un ou des artisans du bâtiment dans le respect des règles professionnelles en vigueur. Dans un second temps (§4.3), une filière de collecte d'urine dans un bâtiment est décrite car ce type de projet a tendance à se multiplier.

En contexte d'ANC, ces filières ne peuvent faire l'économie d'une filière complémentaire pour traiter les eaux ménagères, celles-ci étant dirigées vers l'égout en AC. C'est pourquoi, une quatrième sous-section est dédiée à une filière en devenir jugée comme cohérente avec l'approche de séparation à la source mais dont l'objectif n'est pas la valorisation.

4.1 Gestion des matières de toilettes non reliées à un composteur

Les toilettes à litière constituent probablement le modèle de toilettes sèches le plus répandu aujourd'hui en France chez les particuliers. Ces toilettes correspondent au cas 4A de la Figure 3. Les urines et matières fécales sont collectées ensemble dans un seau avec le papier hygiénique. Chaque usager verse un peu de litière (copeaux, sciure, feuille, papier, etc.) pour couvrir ses excréments, absorber l'urine et créer un mélange favorable au compostage avec présence d'oxygène. Le fond du seau est garni de litière ou journal afin d'éviter que les excréments ne viennent se coller : ce qui facilitera plus tard le nettoyage du seau. Dans la cabine des toilettes, une réserve de litière doit être présente ainsi qu'une poubelle pour les déchets non organiques. Le seau doit être étanche, avec couvercle et d'un volume compris entre 15 et 80 L. Il ne faut pas attendre que celui-ci soit trop rempli pour le vider. Un remplissage aux deux tiers est idéal, sinon il deviendrait lourd et renversable. Pour une famille de 4 personnes disposant d'un seau de 20 L la vidange est réalisée environ 2 à 3 fois par semaine en fonction de la fréquentation, du niveau de remplissage et de la génération de nuisances (odeurs, moucheron). Ces deux paramètres, le volume et le temps de séjour, président la gestion d'une telle installation,

Pour une année d'utilisation, il est nécessaire d'avoir un approvisionnement d'environ 2 m³ de litière en foisonné.

Le dispositif de traitement de ces toilettes est situé à l'extérieur de la maison (Figure 5). Il est composé de 3 bacs de 1 à 2 m³ chacun avec un bac de remplissage, un de maturation et un dernier de stockage de litière respirante à ajouter au compost présent dans le bac de remplissage. Cette litière organique peut être composée de feuilles mortes, broyat de bois, paille, etc. Ces bacs sont implantés dans une zone plane, facilement accessible, mi-ombragée et non-inondable. Ils disposent de couvercles étanches et de parois pleines ou peu ajourées pour les protéger des intempéries, réguler l'humidité, éviter l'intrusion d'animaux et la dispersion des matières.

- 1 Bac de stockage de la litière respirante
 - 2 Bac de maturation (vide et ouvert ici pour la photo)
 - 3 Bac de remplissage (fermé)
 - 4 Toiture pour protéger des intempéries
 - 5 Etanchéité au sol dans les zones à enjeux
 - 6 Parois extérieures pleines
- Dimensionnement 1,5 m³ / bac



Figure 5 : Espace de compostage en extérieur

La gestion du compost se fait en mélangeant la nouvelle vidange avec les matières déjà présentes en surface (sur 20 cm). Lorsque le bac de remplissage est plein, il convient de transvaser son contenu dans le bac de maturation en le brassant. Ce brassage permet de rendre homogène le contenu des bacs, d'aérer l'ensemble des matières, de gérer l'humidité et d'éviter l'assèchement en surface. L'ensemble des matières en cours de traitement ne doit être ni trop sec ni trop humide. Dès lors, il est nécessaire d'attendre de 1,5 ans à 2 ans à température ambiante (2-20°C) comme traitement avant utilisation au jardin selon l'OMS. Pour cela, il faut vider le bac de maturation et tamiser la matière avec une maille de 1 à 2 cm. Les refus de tamis retournent dans le bac de remplissage. La matière tamisée est épandue dans le jardin à raison de 3 kg/m² correspondant à une épaisseur d'environ 3 cm de compost mature. Les lixiviats, urines et eau de rinçage, souillés par le compost sous le bac de remplissage peuvent s'infiltrer si l'installation n'est pas située dans une zone à enjeu sanitaire (périmètre de protection de captage par exemple) ou environnemental (zone Natura 2000 par exemple). Ces liquides représentent moins de 10 L/semaine pour une famille de 4 personnes. Dans les zones à enjeu, les bacs de remplissage et de maturation doivent être étanches au sol. Dans ce cas, les lixiviats rejoignent l'installation de traitement des eaux ménagères qui peut être un filtre à broyat de bois (§4.3).

Des toilettes à litière manufacturées coûtent entre 300 et 800 € auquel il faut ajouter le coût de l'espace de compostage, soit environ 300 € supplémentaires. Ces éléments peuvent être auto-construits, dans ce cas, les coûts sont réduits.

4.2 Gestion des matières de toilettes reliées à un composteur

Les toilettes reliées à un composteur correspondent aux cas B et C de la Figure 3. Les urines et matières fécales peuvent être collectées ensemble ou séparément. Les matières sont collectées dans un composteur directement relié aux toilettes. Dans le cas d'une collecte séparée des urines (§3.2 et §3.3), les apports en litière pour la gestion du compostage sont plus faibles et le compost peut nécessiter d'être arrosé

pour garantir un taux d'humidité suffisant.

Il existe différents types de composteurs qui peuvent être intégrés et adaptés en fonction du terrain et du bâti. Ils peuvent être implantés en sous-sol, en cave ou à l'extérieur derrière le mur des toilettes (Figure 6). Ils doivent être étanches à l'air. Le composteur est construit sur place ou posé à l'emplacement dédié s'il est manufacturé. En cas de sol étanche, dans le bâti ou en zone à enjeux, un drainage est placé au point bas du sol avec une évacuation des lixiviats vers le dispositif de traitement des eaux ménagères. Ce drainage est équipé d'une crépine ou d'une bonde protégée d'un lit composé d'un matériau filtrant de granulométrie croissante (graviers ou broyats de type plaquette). Une épaisseur de litière de 20 cm est placée uniformément au fond du composteur. Ce composteur doit être suffisamment grand pour accueillir 3 zones équivalentes au seau et aux deux premiers bacs évoqués précédemment (§4.1), c'est-à-dire qu'il est composé d'une première zone de collecte des matières où peut se créer un cône de défécation sous la colonne de chute des excréments. Une seconde zone, plus proche de la porte d'accès, correspond à la zone de compostage où les excréments sont mélangés à de la litière. La litière est apportée par la porte d'accès et brassée dans cette zone une fois par mois. Enfin, une troisième zone de maturation est située à proximité de la porte d'accès pour stockage sans nouvel apport avant évacuation du compost mature au jardin. Pour une famille de 4 personnes, un composteur doit avoir les dimensions minimales suivantes 1,8 m de long, 1,2 m de large et une hauteur de 1,8 m. Plus il sera grand, plus les interventions seront confortables.

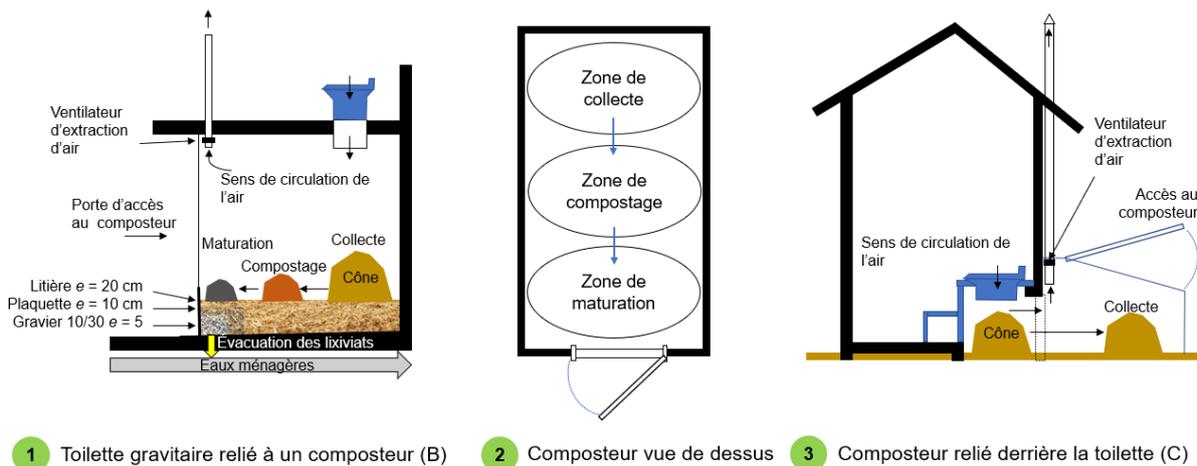


Figure 6 : Toilettes reliées à un composteur

L'étanchéité à l'air du composteur, y compris pour la porte d'accès doit permettre à la ventilation d'aspirer l'air du composteur en créant une dépression dans la cabine des toilettes via l'interface usager. Cette circulation de l'air garantit l'absence d'odeur et de moucheron dans les toilettes. L'air est ensuite rejeté à l'extérieur par une cheminée. Aucun courant d'air parasite ne doit venir perturber cette circulation. La porte d'accès doit ouvrir vers l'extérieur pour faciliter les manutentions et l'accès. Il faut soigner particulièrement les jonctions des parois du composteur pour respecter cette étanchéité. La ventilation, conforme aux normes du bâtiment (§3.2), est placée dans un conduit, partant du composteur et débouchant au faîtage de la maison, comme pour un conduit de cheminée. L'extrémité du conduit est équipée d'un chapeau pour éviter de laisser entrer la pluie. Le ventilateur, dimensionné pour au minimum $15 \text{ m}^3/\text{h}$ soit

environ 1,2 Watts, est placé à proximité de la porte d'accès du composteur de manière à être accessible pour le nettoyer une fois par an. Si le bâtiment est équipé d'un système d'aspiration centralisé, il est fortement recommandé de raccorder l'extraction d'air du composteur à cette entité.

Tous les mois, il est nécessaire de casser le cône de défécation avec un croc ou un râteau et d'insérer de la litière pour favoriser le compostage si le milieu est trop humide. Il est alors possible de déplacer les matières de la zone de collecte vers la zone de compostage et de brasser cette zone. Il est également possible d'introduire dans la zone de maturation des vers coprophages comme *Eisenia fetida* ou vers du fumier. Ils accélèrent la décomposition de la matière et limiteront les ajouts de litière. Il est nécessaire de bien aérer le compost et de s'assurer de son taux d'humidité et de l'ajuster si besoin en arrosant d'eau ou de litière. Une bonne consistance est friable, ni boueuse, ni poudreuse. Les éventuelles mouches présentes sont coincées par le ventilateur extracteur d'air. Des moucherons peuvent apparaître à certains moments de l'année sur des périodes d'une à deux semaines quand des conditions de température et d'humidité sont réunies dans le compost. Il s'agit des mêmes moucherons que ceux observables auprès de canalisations humides (salle de bain, toilettes à eau). Il est possible de minimiser cette nuisance en vaporisant du vinaigre et de l'huile essentielle de citron ou en augmentant le débit d'extraction du ventilateur. Tous les ans, le ventilateur est démonté et nettoyé. La conduite d'aération est nettoyée de ses toiles d'araignées. En cas de problème de ventilation (panne, bouchage, etc.), il est possible de couvrir les matières de litière pour stopper les odeurs comme dans le cas des toilettes à litière (§4.1). Lorsque les matières présentes dans la zone de maturation ont plus de 2 ans et qu'elles représentent un volume trop important, il est possible de les vidanger avec un seau et une brouette. Pour une famille de 4 personnes, ce volume est d'environ 20 à 60 L/an en fonction de la quantité de litière apportée et de la fréquentation des toilettes.

L'investissement pour des toilettes reliées à un composteur manufacturées (ou en ayant recours à un artisan) est de l'ordre de 2500 à 3500 € cuvette, composteur et ventilateur compris. En auto-construction ces coûts peuvent être diminués à environ 1000 à 1500 €.

4.3 Gestion de lisain issu d'un bâtiment recevant du public

Bien que ce type de filière puisse être proposé pour une maison individuelle, cette section se concentre sur le cas d'un équipement recevant du public ou bâtiment collectif. Un focus est ici réalisé sur une seule partie des excréments : la gestion de l'urine pour en faire du lisain. Les excréments peuvent être gérés par voie sèche ou humide en fonction de l'interface usager choisie (§3.1 et 4.2). Cette filière peut être prévue autant dans un bâtiment neuf que dans le cadre de la réhabilitation d'un bâtiment existant. Si dans cette seconde situation la filière est plus complexe à mettre en œuvre, il s'agit principalement du fait de l'implantation d'un nouveau réseau dédié à la collecte des urines dans un bâtiment qui ne l'avait pas anticipé. Ainsi, dès la conception d'un bâtiment, il conviendrait de prévoir dans les zones concernées comme le passage d'une dalle ou les gaines techniques, l'implantation d'un tel réseau soit en réservant des passages dédiés soit en implantant le réseau en attente. Prévoir la réversibilité du dispositif, permettant à l'utilisateur ou l'exploitant d'avoir le choix entre collecter et raccorder l'urine au réseau d'eaux usées domestiques, fait aussi partie des réflexes à avoir pour de nouvelles conceptions.

La collecte d'urine se fait grâce à la mise en place d'urinoirs secs équipés d'un siphon sec et/ou de toilettes à séparation des urines (1A, 1B, 2A et 3A selon la Figure 3 et la Figure 4). Pour le lisain, les interfaces comme les urinoirs et toilettes fonctionnant avec des micro-chasses pour rincer le bol de collecte de l'urine sont à proscrire afin d'éviter de diluer l'urine et ainsi ne pas transporter une part d'eau trop importante. La conception du réseau de collecte d'urine dans le bâtiment est centrale dans l'installation du fait de son risque de colmatage par un dépôt issu des urines [14]. Ce réseau collecte plusieurs urinoirs et toilettes situées dans les différents étages du bâtiment. Il est connecté à une cuve de collecte qui est mise à la pression atmosphérique par une ventilation primaire (VP) débouchant en toiture et équipée d'une soupape (Figure 7). Le réseau d'urine, avec ses spécificités présentées précédemment (§3.2), ne déroge ni aux règles professionnelles ni à la NF DTU 60.1.

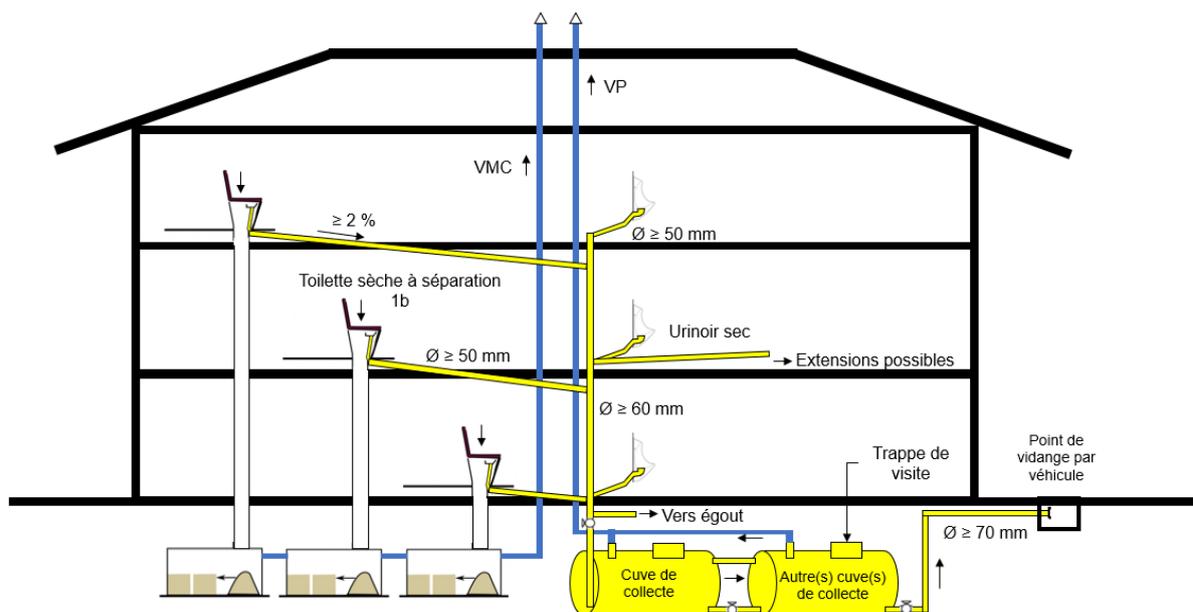


Figure 7 : Réseau d'urine dans un bâtiment

Pour produire du lisain, il est nécessaire de disposer d'au moins deux cuves. La première cuve pour collecter l'urine est située en pied d'immeuble : cave, vide sanitaire, parking ou enterrée à l'extérieur. Plusieurs cuves de collecte modulaires peuvent être connectées ensemble de sorte à générer plus de volume de stockage dans le bâtiment (Figure 7). La seconde cuve (non représentée sur la Figure 7) est située dans l'immeuble ou sur une plateforme dédiée chez un agriculteur par exemple. Elle permet de stocker sans nouvel apport l'urine sur une durée de 1 à 6 mois (§3.2) pour en faire du lisain. Ces cuves doivent être implantées de manière à pouvoir être vidangées aisément.

La formule (1) vue précédemment (§3.2) permet de dimensionner le volume nécessaire d'une cuve plutôt dédiée au stockage. Le dimensionnement de telles cuves doit être pris avec précaution tant des aléas peuvent survenir comme le taux de fréquentation des urinoirs et toilettes qui est difficile à évaluer. En effet, la question de l'utilisation des toilettes est complexe. Alors que le volume moyen d'une miction est connu et estimée à 0,25 litres c'est le nombre d'utilisation de l'urinoir par jour qui est plus difficile à appréhender. Ce nombre d'utilisation va dépendre des usages du bâtiment ainsi que du nombre et du type d'usager de celui-ci. Par exemple, les

personnes qui travaillent sur place utilise l'urinoir plus de fois que les personnes de passage. Ainsi, la formule (2) ci-après propose, en se basant sur la miction, une approche complémentaire à la formule (1) et plus dédiée à la cuve de collecte.

$$(2) V = 0,25 \times N_u \times j \times C_s$$

- V Volume total de collecte nécessaire (l)
- N_u Nombre d'utilisation des toilettes.
- j Nombre de jour d'ouverture du bâtiment sur les 6 mois
- C_s Coefficient de sécurité. Un coefficient de 1,1 permet une marge de sécurité pour garder un minimum de ciel gazeux dans la cuve

Afin de moins déverser l'urine collectée au réseau d'égout via la surverse et aussi de réduire la fréquence de vidange de la cuve, il convient d'opter pour un léger surdimensionnement de la cuve. Croiser les formules (1) et (2) lors des calculs de dimensionnement permet d'aboutir à une proposition cohérente.

Le lisain peut générer un dépôt important en fond de cuve. Celui-ci doit pouvoir être extrait par le système de pompage mis en place ou en fin de vidange du liquide de rinçage de la cuve (vidange opérée grâce à une purge située à son point bas). Ainsi, plusieurs éléments sont à associer à la cuve de stockage comme un trou d'homme pour le nettoyage, un éventuel dispositif de prélèvement d'échantillon, un trop plein connecté au réseau d'eaux usées domestiques ou un dispositif de mesure du niveau de remplissage. L'espace dédié à l'implantation des cuves doit être considéré comme un espace confiné et doit pouvoir être aéré.

Le cas échéant, un réseau enterré dédié à la vidange, de diamètre minimum 70 mm et résistant aux surpressions-dépressions, doit être implanté jusqu'à un point d'accès extérieur au bâtiment. Ce point d'accès permet à un camion vidangeur ou un tracteur équipé d'une tonne à lisier (tous deux dotés d'un système de pompage) de vidanger la cuve de stockage. Un raccord pompier de diamètre 80 est posé dans un regard en attente en bordure de voirie. A défaut, la cuve est associée à une pompe d'évacuation du lisain. En effet, rares sont les cas dans lesquelles une utilisation des urines pourra avoir lieu à la parcelle au regard des volumes collectés (§3.4). Même si pour une maison individuelle un épandage à la parcelle peut paraître envisageable avec environ 500 m² de jardin nécessaire par personne.

L'une des contraintes du lisain est sa forte teneur en eau qui dilue les nutriments dans leur apport au champ. Ceci entraîne lors des épandages des rotations de véhicule et des difficultés dues au poids apporté sur les sols agricoles dans des périodes de fertilisation où la portance est faible. Les sols ne sont pas ressuyés au printemps quand les plantes ont besoin de fertilisants. Le nombre de cuves de stockage installées doit donc prendre en considération les contraintes saisonnières d'apports du lisain au champ. La directive européenne 91/676/CEE du 12 décembre 1991 dite « nitrate », impose en fonction de zonages des conditions comprenant des périodes d'épandage, généralement entre février et juin, à intégrer au plan de fumure des exploitations agricoles. Enfin, pour limiter la volatilisation de l'azote lors des apports, il est préconisé d'avoir recours à des rampes à pendillards ou enfouisseurs.

Les surcoûts liés à l'installation de la collecte d'urine dans un bâtiment sont négligeables au regard d'une installation avec un réseau d'eaux usées et des coûts globaux du bâtiment. Le coût d'un urinoir sec se situe entre 200 et 700 €, celui des

toilettes à séparation des urines entre 500 et 1500 €. Le coût pour le réseau d'urine est estimé à 3 € par mètre linéaire posé et pour la cuve entre 200 à 600 € par m³ stocké, pour des cuves de 1 à 15 m³.

4.4 Gestion des eaux ménagères

Toutes installations de séparation à la source des excréments nécessitent une filière de traitement des eaux ménagères en ANC [W6700]. Pour les eaux ménagères, les interfaces usagers sont connues (§3.1) et ne dérogent pas aux pratiques courantes dans le cadre d'une séparation à la source. La collecte et le transport, se font en canalisation. Le développement bactériologique est rapide dans les eaux ménagères, quelques heures suffisent. Cette situation défavorise des solutions de stockage de plus de quatre-vingt-dix minutes avant traitement pour éviter leur fermentation selon l'ANSES. Leur collecte dans le bâtiment se fait selon les normes classiques de plomberie comme le NF DTU 60.1.

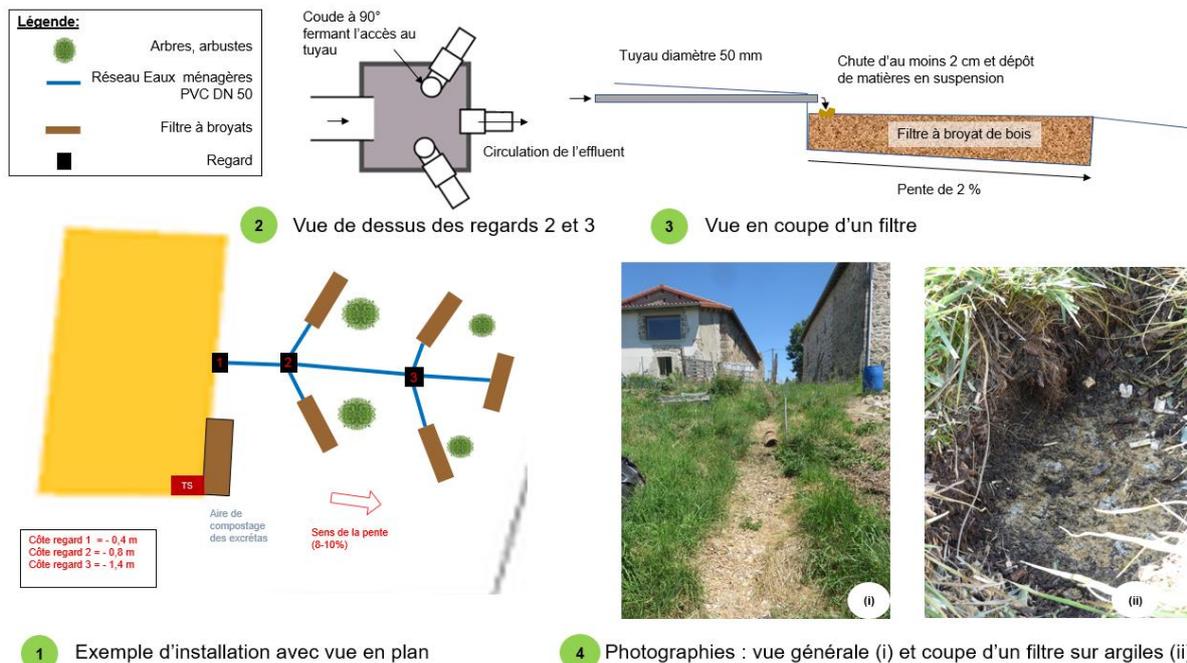
Les systèmes de traitement biologique par cultures libres ne paraissent pas bien adaptés aux eaux ménagères qui sont moins chargées en matière organique que les eaux usées. De plus, les eaux ménagères sont reconnues pour générer des charges hydrauliques très variables d'un ménage à l'autre du fait de l'absence de l'effet de lissage due aux volumes des chasses à eau qui correspondent à 20% de la charge hydraulique quotidienne. Ces deux facteurs amènent un contexte contraignant pour le développement bactérien qui impacte les rendements épuratoires [10]. Un traitement biologique par cultures fixées sur support fin dans un filtre semble pouvoir mieux répondre à ces contraintes de disponibilité de la matière organique et de lessivage. En effet, le développement d'un film biologique de bactéries aérobies sur un substrat avec de grandes surfaces d'échanges permet d'obtenir des rendements épuratoires optimisés [C5222 V1]. Pour ces dispositifs, il est nécessaire d'éviter le colmatage du filtre tout en ayant un temps de séjour de l'effluent adéquat. Le filtre planté et le filtre à broyat de bois (FBB) apparaissent adaptés pour traiter ce type d'effluent. A performance épuratoire égale, le FBB aura un bilan environnemental supérieur grâce à la mobilisation de broyat de bois, qui est une ressource renouvelable contrairement au sable, comme support de filtration. Les prescriptions techniques et les performances des filtres plantés pour le traitement des eaux usées sont bien renseignées grâce aux travaux du laboratoire Reveersal d'INRAE depuis près de 30 ans, voir à cet effet les travaux du groupe de travail EPNAC.

De son côté, le **filtre à broyat de bois** (§2.1 et §4.1) est une technique provenant des Etats-Unis. Il était alors employé pour générer de la verdure au jardin grâce aux eaux ménagères produites au sein du foyer (appelé alors Oasis Greywater) et valorisées en arrosage. Son développement en France depuis les années 2010, avec un suivi renforcé depuis 2017, ne répond plus à cet objectif de valorisation des eaux ménagères. Toutefois, cette installation favorise l'infiltration des eaux usées traitées pour recharger les aquifères et maintenir de l'humidité dans le sol à destination de la végétation alentour.

Le broyat de bois est donc le média filtrant qui supporte le développement des bactéries responsables de l'épuration. Une installation est composée d'un à plusieurs filtres unitaires (Figure 8). Chaque filtre est réalisé grâce à une fouille unique dans le sol en place avec une pente en fond de fouille de 2 %. Le filtre est alimenté par le

dessus grâce à un tuyau de diamètre supérieur ou égal à 50 mm. Une chute d'eau d'au moins 2 cm est à respecter pour prévenir le colmatage de la canalisation par des matières en suspension. La tranchée du filtre est garnie d'un massif propre rapporté formant un sol reconstitué de broyat de bois. Les dimensions de la tranchée sont comprises :

- Longueur comprise entre 2 et 5 m
- Largeur comprise entre 0,2 et 0,6 m
- Profondeur inférieure à 0,4 m



Alors qu'une installation n'est possible qu'à partir de deux équivalents habitants (EH), le dimensionnement respecte le principe de 1m² par EH. La surface d'un filtre à broyat de bois est calculée sur la base de la charge hydraulique. Effectivement, les retours d'expériences montrent que les charges organiques sont en deçà des valeurs repères et atteignent au mieux 50 % des références [19]. Les formules (2) et (3) permettent d'obtenir le dimensionnement d'une installation par filtres à broyat de bois :

(3)

$$S_t = \sum_{i=1}^{EH} S_{fi}$$

(4)

$$S_{fi} = V_{EM} / (0,01 \times C_h)$$

Avec :

S_t Surface totale de l'installation, en m² (avec comme valeur minimale acceptable 2m²),

EH Nombre d'équivalent habitant de l'installation,

S_{fi} Surface du filtre i en fonctionnement, en m² (valeur minimale acceptable 1m²),

C_h Charge hydraulique à traiter, en cm/m²/jour (valeur maximale acceptable 37,5 cm/m²/jour),

V_{EM} Volume moyen d'eaux ménagères émis par le ménage, en m³/jour,

Ces formules prennent en compte les aléas de charges hydrauliques dues à l'usage de l'habitation raccordée. Afin de ne pas avoir d'installation expansive, la charge

hydraulique arrivant sur le filtre en fonctionnement ne doit jamais dépasser 60 cm/m²/jour et qu'occasionnellement 37,5 cm/m²/jour. C'est pourquoi la surface minimale du filtre en fonctionnement est dimensionnée sur la base du volume moyen d'eaux ménagères émis par le ménage (consommation annuelle ramenée à une moyenne journalière). Des pics d'effluents peuvent survenir et ainsi amener à une augmentation de la charge hydraulique à traiter dans le respect de la valeur maximum fixée à 60 cm/m²/jour. Sur des terrains peu perméables (inférieurs à 20 mm/h), la charge hydraulique à traiter doit être ramenée à 20 cm/m²/jour.

Comme pour les filtres plantés, plusieurs filtres peuvent être réalisées pour une alimentation en alternance afin de prévenir le colmatage. L'alimentation d'un filtre est gérée au niveau des regards répartiteurs. L'installation est implantée à une distance suffisante des habitations afin de limiter les nuisances dans le respect des contraintes d'implantation de l'arrêté du 07 septembre 2009. Afin d'éviter des contacts accidentels avec l'effluent, un grillage est mis en place autour des alimentations à l'air libre de chaque filtre unitaire ainsi qu'un dispositif de signalement de l'installation.

Pour l'entretien du dispositif, toutes les semaines, lorsqu'il existe plusieurs filtres unitaires, il faut alterner leur alimentation en organisant un cycle en manipulant les coudes à 90° situés dans les regards répartiteurs. Dans le cas de la Figure 8, un filtre est en alimentation pendant une semaine puis au repos pendant quatre semaines. C'est l'occasion de réaliser une surveillance et un contrôle général de l'installation. Tous les mois, il est nécessaire d'assurer l'entretien des espaces verts et de surveiller le bon écoulement dans les filtres. Si besoin, il faut curer les dépôts de surface avec un croc. Tous les ans, le maintien du niveau de broyat du ou des filtres au niveau du sol par rajout de broyat frais est nécessaire. En cas de colmatage d'un filtre, il faut renouveler le broyat : le broyat ancien peut être épandu et/ou composté. En fonction de la zone d'implantation du dispositif (sol, éloignement du bâti, etc.), une telle installation coûte de 500 à 1500 € fournitures et terrassement compris. Le chantier peut se dérouler sur une journée.

4.5 Exploitation et maintenance

Les exemples précédents soulignent l'importance des interventions d'exploitation des dispositifs de séparation à la source des excréments (tableau 1), qui nécessitent toutefois pour l'utilisateur une implication légèrement supérieure aux autres dispositifs d'assainissement classiques en temps passé. Le nettoyage des interfaces usagers correspond à des tâches assez similaires dans les deux cas. L'exploitation et la maintenance des dispositifs de collecte/transport et de traitement sont quant à elles plus spécifiques. Le temps passé à déléguer certaines tâches en assainissement conventionnelle (camion vidangeur, traitement en station d'épuration) se reporte sur l'exploitant, souvent usager de l'installation, pour gérer vidange, compostage et épandage. C'est pourquoi, leur prise en compte, dès la conception des dispositifs, quel que soit leur mode de mise œuvre (auto-construction, par un constructeur ou par un artisan du bâtiment), permet généralement d'optimiser les interventions en temps passé et en confort. Il s'agit d'une étape incontournable d'une installation réussie. Ainsi, la place dédiée aux manipulations du compost en intérieur ou en extérieur avec un croc à la main doit être anticipée. L'implantation de dispositifs qui nécessitent des interventions régulières d'exploitation, comme la ventilation, le brassage d'un compost ou la vidange d'une cuve doit être anticipée afin que ceux-ci soient facilement

accessible. La manipulation de vannes et l'intervention sur des réseaux avec des mises en charge ou des purges de cuves doivent également être pensées pour que la personne exploitante puisse réaliser ses tâches en situation confortable.

Comme pour les autres installations d'assainissement, certaines règles sanitaires sont à respecter. Il est préconisé d'utiliser des outils dédiés aux manipulations. Par exemple pour la gestion des composts, les outils utilisés (pelle, râteau, croc, etc.) restent à demeure et sont uniquement dédiés à cet usage. La personne en charge de l'exploitation prend soin d'utiliser les équipements de protection individuel classiques recommandés pour toutes interventions en contact avec des excréments humains. En particulier, le lavage de main avec un savon en fin de manipulation est indispensable. Dans ce registre, pour le transport des urines et/ou matières fécales, il est préconisé d'utiliser des réceptacles étanches avec un couvercle fixé pour éviter tout risque de renversement. Après avoir vidangé le contenant, il est nécessaire de le rincer et de le nettoyer avec un désinfectant de préférence biodégradable. L'eau de lavage du réceptacle peut rejoindre le compost afin de participer à son humidification, la présence de désinfectant, de préférence biodégradable, n'impacte pas le processus de compostage s'il est utilisé avec parcimonie. Pour les interventions en zone confinée, comme une cuve en sous-sol ou un compost collectif relié, il est préconisé comme pour les autres installations d'assainissement de disposer d'une formation adaptée.

Pour les réseaux d'urine, une bonne pratique d'exploitation tant de l'interface usager que du réseau est la clef pour réduire le risque de colmatage issu de l'encrassement des canalisations (§3.2). Les usagers et le personnel d'exploitation jouent alors un rôle déterminant dans cet objectif. Il convient donc de souligner la nécessité de mettre en œuvre des actions adaptées d'information-éducation-communication à leur égard. La concertation des personnes en charge de de l'exploitation et de la maintenance dans les étapes de conception des dispositifs est une garantie de la pérennité de l'installation qui sera mise en place.

Tableau 1 : Préconisations d'exploitation associées à trois des quatre exemples

Toilettes à litière	Toilettes reliées à un composteur	Installation de filtre à broyat de bois
<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage de la lunette. - Vidange périodique du seau sur une aire extérieure. 2 à 3 fois par semaine. - Nettoyage du seau. - Approvisionnement en litière dans la pièce de la toilette. Compter environ 2m³. - Gestion du compostage à l'extérieur avec des outils dédiés et un retournement une fois par an minimum. - Gestion des lixiviats sur aire étanche avec recirculation sur le compost. - Epanchage du compost mûr une fois par an. Compter environ 1m³. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage de la lunette. - Gestion dans le composteur une fois par mois (ajout de litière ou humidification et transfert entre les zones A-B-C). - Nettoyage de la ventilation une fois par an. - Nettoyage de la bonde de collecte des lixiviats si colmatée. - Vidange et épandage du compost mûr si nécessaire, quand le composteur est trop rempli. Compter environ 100 L/an. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier le bon écoulement dans les regards répartiteurs et curer si besoin. - Alternier l'alimentation en organisant un cycle comprenant tous les filtres unitaires une fois par semaine. - Entretien des espaces verts autour du filtre. - Maintenir le niveau du broyat de bois dans le filtre au niveau du sol. - En cas de colmatage, épandre ou composter le broyat ancien sur la parcelle.

La rusticité des dispositifs de séparation à la source des excréments limite les maintenances sur des appareils électromécaniques. Seuls, les organes suivants peuvent faire l'objet d'une maintenance électromécanique : la ventilation de la cuve à compost, les capteurs de remplissage de cuves d'urines, les électrovannes pour

l'alternance des cuves d'urines ou les pompes de type vide-cave utilisées pour alimenter les FBB. Comme évoqué précédemment, l'implantation de ces appareils doit être réalisée avec la préoccupation de la potentielle panne à venir. Tout dispositif électrique mobilisé pour une installation de séparation à la source des excréments ne déroge pas aux règles professionnelles de l'électricité dans le bâtiment.



À retenir

- Il existe des techniques de séparation à la source des excréments rustiques et facilement appropriables par les usagers.
- En ANC, il convient également de traiter les eaux ménagères par un dispositif adéquat.
- Les interventions d'entretien, exploitation et maintenance doivent être anticipées dès la conception des dispositifs en associant les personnes concernées.

5 Déploiement de la séparation à la source des excréments

La séparation à la source des excréments en France prend actuellement de plus en plus d'ampleur du fait d'une appropriation croissante par le grand public et les collectivités. Dès lors, il convient de se doter d'outils d'élaboration de politiques publiques sur ce sujet et d'outils de maîtrise d'œuvre adaptés. C'est donc en recensant des expériences existantes pour en tirer des enseignements que certains critères de sélection émergent. Ces critères doivent permettre de choisir, en connaissance d'implantation, d'exploitation et de maintenance, certaines modalités d'installations plutôt que d'autres.

5.1 Perspectives de développement en France

Une fois le constat d'un intérêt croissant des français sur la séparation à la source des excréments fait, il convient de tirer des leçons de retours d'expériences sur le territoire français.

▪ Des retours d'expériences variés et prometteurs

Dans le contexte actuel de sécheresse croissante, de tension sur l'accès aux nutriments et à la matière organique des agriculteurs et d'une réduction souhaitée des émissions de gaz à effet de serre, la séparation à la source des excréments apporte des réponses concrètes. Son déploiement s'intensifie de manière croissante depuis une dizaine d'années. Plusieurs indicateurs montrent un regain d'intérêt pour les techniques de la séparation à la source des excréments comme une augmentation des titres de grands médias sur le sujet depuis 2020 ou le nombre d'abonnés à des groupes dédiés sur les réseaux sociaux. Les enjeux relatifs à la séparation à la source des excréments sont de mieux en mieux appréhendés par le grand public. Divers travaux, tant issus du monde académique (Programme OCAP) que d'acteurs opérationnels (les associations Réseau d'Assainissement Ecologique, Solagro avec son scénario Afterres 2050 ou Les Greniers d'abondance avec leurs préconisations sur la résilience alimentaire), permettent de mutualiser les expériences et de diffuser des pratiques et des scénarios pour toucher les particuliers et les collectivités. Les aides financières de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie ont permis l'émergence en 2020 de l'opération Saint Vincent de Paul qui est le premier projet de quartier urbain avec séparation à la source des excréments d'envergure en France avec 600 logements. De plus, l'ASTEE-

37



Arceau a organisée en mars 2023 une journée dédiée à la séparation à la source. Celle-ci se concluait par une appréciation, d'une délégation américaine et suisse de spécialistes de la séparation à la source, que la France devenait une locomotive sur ce sujet au niveau mondial.

Le programme OCAPI réalise un suivi des projets urbains de gestion séparative des excréments dans des bâtiments collectifs en France. Plus d'une cinquantaine de projets sont déjà recensés. Parmi ceux-ci, des filières de gestion collective des matières sont identifiées. Elles prennent des configurations variées en fonction des acteurs mobilisés :

- Certaines sont autonomes sur la base d'une initiative citoyenne dans un bâtiment comme un habitat collectif ou partagé qui décide d'assurer seules toutes les étapes de la filière (§3).
- A l'instar du déploiement actuel de la gestion séparative des biodéchets dans les collectivités, certains projets de séparation à la source des excréments assurent :
 - o La collecte en porte à porte puis le transport par une association, des excréments issus d'une séparation à la source. Les matières collectées sont traitées par une entreprise sur une plateforme avant d'être revendues pour valorisation à des particuliers et à des agriculteurs.
 - o Les points d'apports volontaires où les habitants gèrent la collecte et le transport des excréments en direction de sites de traitement et de valorisation confiés à une structure tiers (association, entreprise, agriculteur, etc.).
- A l'image du projet Saint-Vincent-de-Paul, c'est un acteur public qui gère l'ensemble de la filière en confiant certaines parties de son choix à un opérateur privé.
- D'autres mobilisent en premier lieu les agriculteurs. Bien qu'ils aient voulu garder l'anonymat pour des raisons d'absence de cadre réglementaire claire, il est permis de citer différents exemples. Il y a une association pour le maintien d'une agriculture paysanne en Île-de-France dont les adhérents se mobilisent autour de leur fournisseur (maraîcher-céréaliériste) pour lui apporter des nutriments via leurs urines afin que celui-ci les utilise sur ses cultures. Il est aussi possible de recenser des agriculteurs-composteurs disposant d'une installation pour le compostage des déchets verts classée pour la protection de l'environnement, qui ajustent l'humidité et le taux d'azote de leurs composts via des urines avant un épandage sur des parcelles céréalières. Il y a également plusieurs chambres d'agriculture (Île-de-France, Deux-Sèvres, Rhône) qui initient et s'intéressent à des essais au champ avec du lisain et d'autres urinofertilisants.

Ces différents exemples de services démontrent l'hétérogénéité des combinaisons possibles de filières de séparation à la source des excréments en ville. Aussi, suite à une dynamique émergente du sujet de la séparation à la source des excréments jusqu'en 2015 déjà évoquée (§1), il semble que depuis 2018 la France laisse place à une dynamique de décollage sans que ne se dégage une solution type d'organisation.

▪ **Des points d'achoppement connus**

Le système sociotechnique de gestion des excréments existant assimilable à une gestion en « bout de tuyau » freine la diffusion de nouvelles solutions qui font face à des obstacles à différents niveaux réglementaires, techniques, sociologiques, etc. [12].

Toutefois, des initiatives à différentes échelles voient le jour. Pour chaque étape composant la filière à mettre en place, plusieurs enjeux doivent être mis en exergue :

- Les acteurs : l'alignement des acteurs composant les étapes d'une même filière n'est pas un acquis et reste un enjeu fort du déploiement de la séparation à la source des excréments. L'appropriation du sujet par différents champs de compétences intervenant à chaque étape de la filière peut créer des tiraillements entre acteurs qui peuvent influencer les choix relatifs à la composition de la filière. Ces tiraillements peuvent aller d'un débat sur le choix d'une technique à une étape de la filière qui va influencer les autres étapes, jusqu'à des tensions plus fortes comme sur la prise en charge de certains coûts d'exploitation.
- Le contexte de déploiement : il se caractérise par une importance primordiale du soutien local de la puissance publique, la collectivité, pour pérenniser les filières mises en place. Une stratégie publique claire et globale à l'échelle française sur la séparation à la source des excréments permettrait de confirmer voire de pérenniser la dynamique de décollage.
- L'échelle de déploiement : aujourd'hui, essentiellement dans l'habitat individuel, l'habitat collectif et à l'échelle du quartier, le passage au niveau suivant (municipal ou inter-communal) soulève des questions de remise en cause des services établis, en premier lieu celui de l'assainissement pour aller vers un nouveau service « inter-compétences » : eau-assainissement, déchets, agriculture.
- La logistique : le point de rencontre entre les gisements en nutriments plus ou moins éparpillés sur un territoire donné à collecter et à stocker et les besoins en nutriments d'une exploitation agricole doit être précisé. A titre d'exemple, sur une année pour fertiliser 100 hectares de blé tendre à 100 unités d'azote à l'hectare, il faudrait collecter environ 100 % des excréments de 3000 personnes.
- Le modèle économique : l'équilibre économique du budget de l'assainissement sera perturbé par une diminution de la consommation en eau et une transformation du modèle de collecte-transport-traitement-valorisation. Toutefois, les nutriments valorisés pourraient générer des recettes à abonder à ce budget et de nombreuses externalités positives. D'autres questions peuvent se poser comme le devenir du patrimoine de l'assainissement.

5.2 Critères de choix

En connaissance des principes de fonctionnement des étapes d'une filière de séparation à la source des excréments et des enjeux associés décrits précédemment, il est proposé d'aborder les prémices d'un raisonnement méthodologique pour orienter les maîtres d'œuvre et d'ouvrage qu'ils soient des particuliers (à petite échelle) ou des professionnels (pour toutes les échelles). Ce raisonnement repose sur des questions à se poser afin de choisir la technique en fonction de ses modalités de mises en œuvre.

5.2.1 A l'échelle des filières individuelles ou de bâtiments collectifs

Pour l'habitat individuel, le choix d'une installation de séparation à la source des excréments n'est pas simple. Il peut correspondre à un projet dans un bâtiment neuf, dans ce cas la réflexion quant à la filière de séparation à la source des excréments qui sera mise en place est poursuivie en parallèle de la conception du bâtiment (implantation des pièces, passage des gaines, etc.). S'il s'agit d'un projet de rénovation uniquement de l'assainissement ou de tout le bâtiment, il faudra composer avec les

contraintes de celui-ci. Afin de répondre à ces différents enjeux et comme outil d'aide à la décision, ce sont 5 familles de critères (liste non-exhaustive) qui sont proposés et détaillés ici :

- **La volonté de valorisation** : l'utilisateur-exploitant du dispositif a une volonté plus ou moins forte quant à l'utilisation des matières dans son jardin (potager ou d'ornement). Ainsi, il a plus ou moins besoin de nutriments, de matière organique et d'eau pour fertiliser son jardin avec une appétence variable à la manipulation de ces matières assainies. Pour valoriser tous ses excréments, il faut compter 500 m²/personne ce qui permet d'orienter son choix entre une gestion à la parcelle ou avoir recours à un acteur qui externalisera la valorisation de ses excréments. A contrario, il peut s'orienter vers un système générant de faibles volumes de matières qui est également associé à moins de maintenance (§4.4).
- **La configuration du bâti** : un locataire priorise l'installation d'un dispositif facilement substituable à l'installation existante comme les toilettes à litière (§4.1) afin de remettre en l'état l'installation d'origine à son départ. Pour un propriétaire, des travaux de plus grande envergure peuvent être envisagés. La présence d'espace sous les toilettes (cave, vide sanitaire, cellier) ou derrière les toilettes ainsi qu'une facilité soit à se raccorder sur une ventilation existante soit à rajouter une nouvelle ventilation permettent d'orienter son choix vers des toilettes reliées (§4.2).
- **Le changement de comportement** dû à une nouvelle interface usager avec une séparation à la source des urines peut orienter le choix de l'utilisateur (§3.1 et 3.2). Le fait de s'asseoir pour les hommes ou d'adopter une position favorable sur le siège, légèrement penché en avant, pour uriner dans le bol de collecte des urines peut freiner certaines personnes. Cette solution est déconseillée pour des toilettes publiques du fait de la non maîtrise du comportement des usagers.
- **Les coûts** : l'implantation des toilettes à litière (§4.1) reste la solution la plus accessible. L'ajout d'urinoirs secs permet également à moindre coût de faire des économies d'eau, de protéger la ressource en limitant les impacts dus à l'azote et au phosphore, et de disposer d'engrais pour son jardin (§3.4). Enfin, les toilettes reliées si elles apportent du confort à l'utilisateur et de moindres contraintes d'exploitation restent les plus onéreuses (§4.4).
- **Les modalités d'exploitation** : plus l'investissement initial, qu'il soit financier ou technique, dans le dispositif est important plus faibles seront les modalités d'exploitation. En particulier, l'approvisionnement en matière carbonée et les taux de vidange des cuves sont amoindris pour les toilettes reliées (§4.2) vis-à-vis des toilettes à litière. La gestion des composts issus d'une séparation des urines est également simplifiée par un approvisionnement moindre en matière carbonée.

A la lecture de ces critères, il est compréhensible qu'il ne soit pas possible de généraliser une solution unique comme pour l'assainissement conventionnel. Ainsi, le trio propriétaire-utilisateur-exploitant, qui peut être la même personne, doit se positionner en fonction des critères décrits ici sur la solution technique qui lui correspond le mieux. C'est un gage de pérennité et de bon fonctionnement de l'installation qui sera mise en place.

5.2.2 A l'échelle de filières de quartier(s) ou d'une ville

La mise en place d'une telle filière s'avère complexe de par l'organisation et les

systèmes pluri-acteurs mobilisés. Au trio évoqué précédemment vient s'ajouter d'autres intermédiaires. Ainsi, à chacune des étapes, les modes de gestion, la symbolique des imaginaires en lien avec les excréments, les jeux de pouvoirs et de stratégie, la volonté d'exemplarité environnementale et les dimensions techniques et matérielles engendrent une nécessité de concertation au sein des acteurs mobilisés. Chacun de ces acteurs problématise la filière avec son regard personnel en lien avec sa compétence. Une liste des problématiques émergentes sur la séparation à la source des excréments en fonction des étapes et des acteurs mobilisés est dressée dans la Figure 99.

Ainsi, le service déchet d'une collectivité avec ses objectifs de tri sélectif et de collecter-valorisation des biodéchets à l'horizon 2024, présente des modes d'intervention proches de la séparation à la source des excréments. Cette similarité pour les étapes de collecte et de transport pourrait s'avérer utile en termes de mutualisation de services de proximité et d'infrastructures. Les exemples des points d'apport volontaire (§5.1), du transport de matières fermentescibles, des plateformes de compostage font penser à ce que pourrait être une filière de séparation à la source des excréments à l'échelle d'un territoire. La compétence agricole, au sein de la collectivité ou de la chambre d'agriculture peut également être mobilisée dans la perspective de produire des engrais humains. Les professions agricoles peuvent aussi émettre des attentes pour l'étape valorisation en ce qui concerne la qualité (composition, formulation en NPK, solide ou liquide, micropolluants, odeurs, etc.), le statut de déchet ou de produit et la quantité des engrais livrés.

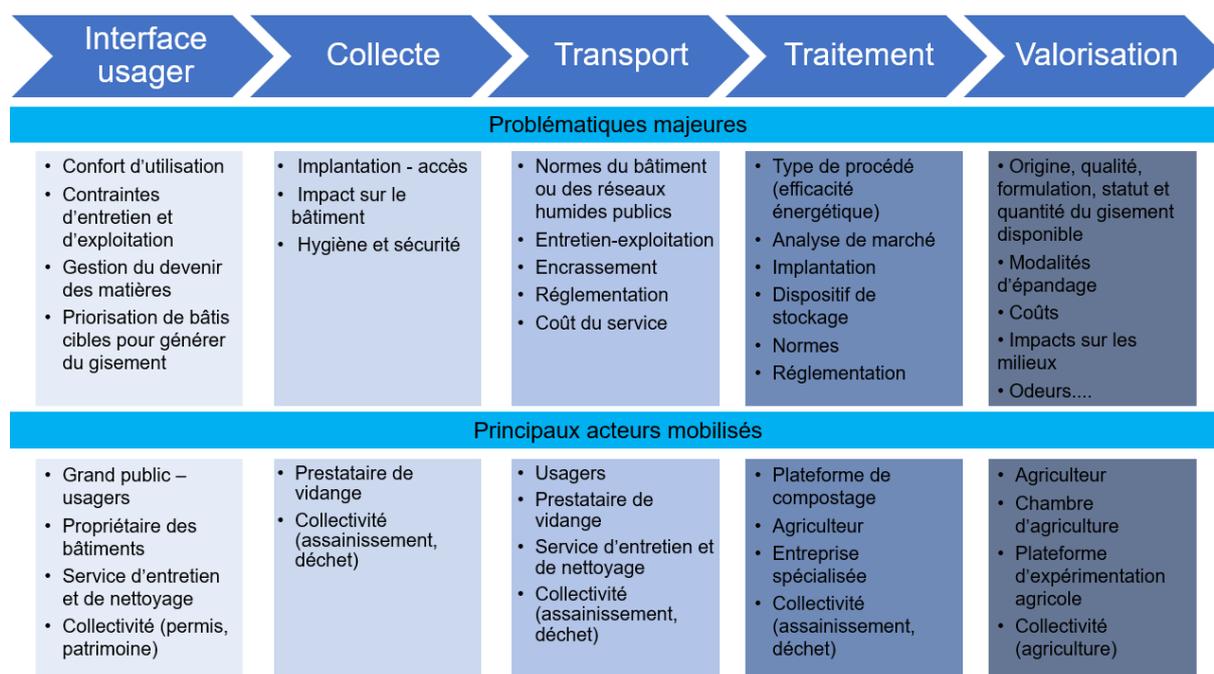


Figure 9 : Problématiques récurrentes pour le choix d'une filière de séparation à la source des excréments à l'échelle d'un quartier ou d'une ville

Alors que l'on observe des projets expérimentaux en cours pour tester le devenir des composts de biodéchets en agriculture, des approches similaires pourraient voir le jour avec des engrais humains. Une concertation de proximité entre différentes directions présentes au sein d'une même collectivité est nécessaire pour garantir le bon fonctionnement d'une filière à grande échelle. C'est par un projet commun des différents services, dans le cadre d'une expérimentation par exemple, que le

changement d'échelle doit s'envisager. Un tel déploiement pose nécessairement des questions techniques ou logistiques mais aussi et surtout politiques, économiques, réglementaires ou juridiques (Figure 9). La séparation à la source des excréments dépasse les frontières traditionnelles entre les compétences d'une collectivité. C'est l'occasion de les réunir autour d'un projet commun. Les collectivités ont déjà montré de la volonté et des aptitudes à déployer des innovations [20]. Cependant, elles font face à des systèmes sociotechniques fortement établis et doivent s'appuyer sur des règles professionnelles fortes et partagées auquel le présent article est un début de réponse. Cette situation ne doit pas omettre le rôle primordial de l'État et de ses agences qui doivent appuyer de telles démarches de transition écologique avec les moyens dont ils disposent [21].

À retenir

- Une dynamique de décollage de la séparation à la source des excréments est perceptible en France avec la multiplication de projets collectifs.
- Pour un déploiement de la séparation à la source des excréments à l'échelle individuel ou d'un bâtiment collectif, il est important de se questionner sur la volonté de valorisation, la configuration du bâti et les modalités d'exploitation.
- A l'échelle d'un quartier ou d'une ville, l'enjeu réside dans une mobilisation pluri-acteurs avec des grilles de lecture propres à chacun et aux compétences mobilisées.
- Il n'existe pas d'organisation type pour les filières de séparation à la source des excréments. Elles sont toujours le reflet de spécificités locales.

6 Conclusion

Pratique traditionnelle qui s'est estompée en milieu urbain dans les pays européens et du Nord avec l'apparition des réseaux centralisés d'eau potable au cours du XX^{ème} siècle, la séparation à la source des excréments est redevenue depuis une vingtaine d'années un sujet d'attention croissant. En effet, elle propose des réponses concrètes aux enjeux actuels liés au coût de l'énergie, à la protection de la ressource en eau et à la volonté des collectivités d'accroître la résilience de leurs territoires grâce à la mobilisation de nutriments utiles en agriculture.

Cependant, le déploiement de la gestion des excréments hors du cycle de l'eau fait face à des freins importants que l'on pourrait associer à un verrouillage sociotechnique fort. Ce verrouillage résulte d'une combinaison de facteurs attribuables à la méconnaissance du pouvoir fertilisant des excréments, à des normes d'hygiène restrictives, à des imaginaires peu favorables aux excréments, à une mobilisation pluri-acteurs complexe ou à un cadre réglementaire actuellement peu clair. Toutefois, certains opérateurs, parmi lesquels des citoyens et des collectivités, cherchent à mettre en application les principes de la séparation à la source. Ce dynamisme se traduit par des projets aux configurations de mise en œuvre, de gestion et d'exploitation très variées, voir à cet effet les fiches de retours d'expérience de l'Institut

Paris Région produites dans le cadre du projet Toilettes Fertiles. Cette tendance récente traduit une appropriation progressive des pratiques et des techniques mais aussi des enjeux relatifs à la séparation à la source des excréments par les porteurs de projets. Ainsi, de nouvelles réalisations à l'échelle de bâtiments collectifs et de quartiers dans les années à venir sont attendues. Ces évolutions de filières vont générer de nouvelles questions tant techniques qu'organisationnelles auxquelles il faudra apporter des réponses. C'est dans cette dynamique d'innovation et de poursuite d'expérimentations que les bases pour des règles professionnelles de la séparation à la source des excréments apportées dans cet article doivent être mobilisées. Pour s'assurer que ces filières soient fonctionnelles et durables, les techniques déployées doivent toujours prendre en considération le rôle primordial de l'utilisation et de l'exploitation des dispositifs. Ainsi, pour assurer la fonctionnalité des dispositifs mis en œuvre, le transfert de compétence et la collaboration avec les gestionnaires doivent avoir une place centrale.

Enfin, la séparation à la source des excréments par les bienfaits qu'elle représente pourrait constituer un outil saisissable par l'État pour déployer une politique publique qui associe assainissement et fertilisation au sein des collectivités en faveur de la résilience des territoires.

7 Glossaire

Eaux usées domestiques ; wastewater

Il s'agit des effluents liquides produits par un ménage. Les eaux usées domestiques comprennent le mélange des eaux vannes et des eaux ménagères.

Eaux vannes ; black water

Les eaux vannes correspondent aux effluents provenant des toilettes à eau. Elles sont principalement composées des eaux de chasse, excréments et papier toilette. Le terme « eaux noires » est parfois utilisé pour les désigner.

Eaux ménagères ; grey water

Elles correspondent à l'ensemble des effluents domestiques autres que les effluents provenant des toilettes, soit principalement les eaux usées issues des douches, baignoires, lavabos, lave-linge, éviers, lave-vaisselle et lavage des sols. Le terme « eaux grises » est parfois utilisé pour les désigner.

Excréments ; excreta

Substances excrétées par l'organisme humain. Les urines et matières fécales sont ici désignées par ce terme (à l'exclusion d'autres fluides comme la salive, la sueur, etc.).

Lixiviats ; leachate

Les lixiviats désignent les fractions liquides qui émanent d'une matière solide. Dans le domaine de la séparation à la source des excréments, ils désignent principalement les fluides émanant d'un stockage d'excréments ou d'un compost. Ils proviennent principalement des urines.

Matière organique ; organic matter

Par opposition à la matière minérale, la matière organique est composée des tissus

d'être vivants qui passent par des étapes de décomposition. C'est une biomasse qui peut être utilisée dans les écosystèmes. La connotation de ce terme est ici souvent faite en lien avec les chaînes carbonées (associées à de l'oxygène et de l'hydrogène) qui la compose.

Nutriments ; nutriments

Les nutriments font référence aux composés organiques et inorganiques nécessaires aux organismes vivants pour se développer. La connotation de ce terme est ici souvent faite en lien avec l'azote, le phosphore et le potassium qui guident la fertilisation agricole.

Séparation à la source ; source separation

Ensemble de techniques qui consiste à séparer au moins l'un des intrants usuels de nos eaux usées (urine, matières fécales, eaux ménagères) dès sa production dans le but de mieux valoriser les composés présents (eau, nutriments, matière organique). Cette technique fait référence à une approche filière composée de l'interface usager, la collecte, le transport, le traitement et l'utilisation des ressources.

Toilettes sèches ; dry toilet – urine diverting dry toilet (UDDT)

Les toilettes sont dites sèches quand elles n'utilisent pas d'apport d'eau de dilution ou de transport des matières collectées. Elles peuvent être unitaires (les urines et matières fécales sont collectées ensemble) ou à séparation (les urines sont collectées séparément).

Toilettes à séparation ; urine diverting toilet (UDT)

Les toilettes sont dites à séparation lorsque l'urine est collectée séparément des matières fécales.

8 Sigles, notations et symboles

Sigle	Signification
AC	Assainissement collectif
ANC	Assainissement non collectif
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ASTEE	Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement
DTU	Document technique unifié
EH	Equivalent habitant
FBB	Filtre à broyat de bois
GT	Groupe de travail
ISO	International organization for standardization
NF	Norme française
OCAPI	Organisation des cycles carbone, azote, phosphore dans les territoires
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONU	Organisation des nations unies
PANANC	Plan d'action national pour l'assainissement non collectif
RAE	Réseau assainissement écologique
RCC	Réseau compost citoyen
SPANC	Service public d'assainissement non collectif

Pour en savoir plus**Séparation à la source des excréments : bases pour des règles professionnelles**

Source separation for excreta: Bases for professional rules

par

Florent Brun

Ingénieur de recherche, doctorant en sciences de l'ingénieur et de l'environnement
LEESU, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Creteil, Marne-la-Vallée, France

Fabien Esculier

Chercheur
LEESU, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Creteil, Marne-la-Vallée, France

Bernard de Gouvello

Directeur de recherche
Groupe TEAM - Département Ville Durable - Cerema Ile-de-France - Trappes, France

Sources bibliographiques

- [1] ESCULIER (F.) – *Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques* – thèse de doctorat - Université Paris Est - (2018)
- [2] BARLES (S.) – *L'invention des déchets urbains, France, 1790-1970* – Champ vallon - (2005)
- [3] ESCULIER (F.), LEGRAND (M.) et TABUCHI (J.-P.) – *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?* – Arceau-IDF - (2021)
- [4] VINNERÅS (B.) et JÖNSSON (H.) – *The Swedish experience with source separation* – In *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management* – p. 415-422 - (2013)
- [5] ESREY (S. A.), ANDERSSON (I.), HILLERS (A.) et SAWYER (R.) – *Closing the loop: ecological sanitation for food security* – Swedish international development cooperation agency (Sida). Department for natural resources and the environment - (2001)
- [6] TRIMMER (J. T.) et GUEST (J. S.) – *Recirculation of human-derived nutrients from cities to agriculture across six continents* – In *Nature Sustainability* – p. 427-435 - (2018)
- [7] LIENERT (J.) et LARSEN (T. A.) – *High Acceptance of Urine Source Separation in Seven European Countries: A Review* – In *Environmental Science & Technology* – p. 556-566 - (2010)



- [8] KVARNSTRÖM (E.), EMILSSON (K.), STINTZING (A. R.), JOHANSSON (M.), JÖNSSON (H.), AF PETERSENS (E.), SCHÖNNING (C.), et al. – *Urine diversion one step towards sustainable sanitation* – Stockholm Environment Institute - (2006)
- [9] TILLEY (E.), LÜTHI (C.), MOREL (A.), ZURBRÜGG (C.) et SCHWERTENBERG (R.) – *Compendium des Systèmes et Technologies d'Assainissement* – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology - Eawag - (2016)
- [10] BRUN (F.), DUBOIS (V.) et BOUTIN (C.) – *L'emploi du broyat de bois, une solution durable pour traiter les eaux ménagères ?* – In Techniques Sciences Méthodes – p. 37-53 - (2021)
- [11] LEGRAND (M.), ESCULIER (F.) et TABUCHI (J.-P.) – *Enjeux réglementaires relatifs à la séparation à la source des urines et matières fécales en vue d'une valorisation agricole* – Arceau-IDF - (2023)
- [12] JOVENIAUX (A.), LEGRAND (M.), ESCULIER (F.) et DE GOUELLO (B.) – *Towards the development of source separation and valorization of human excreta? Emerging dynamics and prospects in France* – In Frontiers – (2022)
- [13] MARTIN (T. M. P.), AUBIN (J.), GILLES (E.), AUBERGER (J.), ESCULIER (F.), LEVAVASSEUR (F.), MCCONVILLE (J.), et al. – *Comparative study of environmental impacts related to wheat production with human-urine based fertilizers versus mineral fertilizers* – In Journal of Cleaner Production – p. 135-123 - (2023)
- [14] BRUN (F.) – *Note pour concevoir et exploiter les réseaux de collecte de l'urine humaine dans des bâtiments* – LEESU, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Creteil - (2019)
- [15] BRUN (F.), JONCOUX (S.), DE GOUELLO (B.) et ESCULIER (F.) – *Vers des filières de valorisation des urines humaines. Le regard des agriculteurs franciliens.* – In Etudes rurales – p. 200-220 - (2020)
- [16] MARTIN (T.) – *L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable* – thèse de doctorat - Université Paris Saclay - (2020)
- [17] BRUN (F.) – *Vers un retour au sol des matières de toilettes sèches mobiles* – In Environnement, Risques et Santé – John Libbey Eurotext - p. 22-26 - (2020)
- [18] STARCK (T.), FARDET (T.) et ESCULIER (F.) – *Fate of nitrogen in French human excreta: current waste and agronomic opportunities for the future* – LEESU, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Creteil - (2023)
- [19] BRUN (F.), DUBOIS (V.), LOMBARD-LATUNE (R.) et BOUTIN (C.) – *Le traitement des eaux ménagères par filtres à broyat de bois* – INRAE - Reversaal - (2020)
- [20] SKAMBRAKS (A. K.), KJERSTADIUS (H.), MEIER (M.), DAVIDSSON (Å.), WUTTKE (M.) et GIESE (T.) – *Source separation sewage systems as a trend in urban wastewater management: Drivers for the implementation of pilot areas in Northern Europe* – In Sustainable Cities and Society – Elsevier Ltd p. 287-296 - (2017)
- [21] TURNHEIM (B.) et GEELS (F. W.) – *Incumbent actors, guided search paths, and landmark projects in infra-system transitions: Re-thinking Strategic Niche Management*



Autres ouvrages

- Agence Nationale de Sécurité sanitaire, alimentation Environnement, travail. (2015). Analyse des risques sanitaires liés à la réutilisation d'eaux grises pour des usages domestiques - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort : ANSES. <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2011sa0112Ra.pdf>
- Agence Nationale de Sécurité sanitaire, alimentation Environnement, travail. (2015). Réutilisation des eaux grises pour des usages domestiques : une pratique à encadrer. <https://www.anses.fr/fr/content/r%C3%A9utilisation-des-eaux-grises-pour-des-usages-domestiques-une-pratique-%C3%A0-encadrer>
- Brun, F., *et al.* (2014). Gestion des sous-produits de toilettes sèches familiales : Étude sur le traitement des matières par compostage. Toilettes Du Monde. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01803047>
- Brun, F., *et al.* (2017). Caractérisation des pratiques et des impacts de la gestion des matières de Toilettes Sèches Mobiles. Toilettes Du Monde. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01803134>
- Brun, F., *et al.* (2017). Caractérisation des Eaux Ménagères domestiques et de filières de traitement associées—Rapport de suivi in situ. Réseau Assainissement Ecologique. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01803150>
- Chesneau, A. *et al.* (2023). L'assainissement écologique : toilettes sèches et filtres à broyat de bois – Ecocentre Pierre et Terre et Réseau Assainissement Ecologique. <https://reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2023/01/Guide-Assainissement-Ecologique-2023-1.pdf>

À lire également dans nos bases

- BAYARD (R.) et GOURDON (R.) – *Compostage : Traitements biologiques des déchets solides* – In Techniques de l'Ingénieur – [G2060] (2022)
- BERGNER (A.) – *Assainissement non collectif : techniques de gestion* – In Techniques de l'Ingénieur – [TBA2550 V2] (2022)
- BERLAND (JM.) - *Traitement des eaux résiduaires des agglomérations – Filières intensives* - In Techniques de l'Ingénieur – [C5222 V1] (2014)
- DE GOUELLO (B.) *L'utilisation de l'eau de pluie dans les bâtiments en milieu urbain* - In Techniques de l'Ingénieur – [GE1031 V1] (2020)
- HOURLIER (F.), FAUR (C.), GÉRENTE (C.), LAKEL (A.), MASSÉ (A.), JAOUEN (P.), LE CLOIREC (P.) - *Eaux grises : caractérisation, traitement et recyclage* – In Techniques de l'Ingénieur – [W6700 V1] (2011)

Normes et standards

AFNOR *Dispositifs d'assainissement non collectif (dit autonome) - Pour les maisons d'habitation individuelle jusqu'à 20 pièces principales* – NF-DTU 64.1 AFNOR, 2013



AFNOR *Plomberie sanitaire pour bâtiments* - NF DTU 60.1 AFNOR, 2012

AFNOR *Dénominations et spécifications – Partie 1 : engrais minéraux* NF-U42-001-1, AFNOR, 2011

AFNOR *Amendements organiques - Dénominations, spécifications et marquage* – NF-U44-051, AFNOR, 2006

AFNOR *Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux* – NF-U44-095, AFNOR, 2002

AFNOR - *Ventilation des bâtiments - Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de conditionnement d'air et de ventilation* – NF-EN-12599, AFNOR, 2012

ISO *Systèmes d'assainissement autonomes — Unités de traitement intégrées préfabriquées — Exigences générales de performance et de sécurité pour la conception et les essais*. ISO 30500, 2018

ISO *Unités de traitement des boues de vidange — Unités préfabriquées et autonomes en énergie de récupération de ressources à l'échelle locale — Exigences de sécurité et de performance*. ISO 31800, 2020

Réglementation

Directive 91/676/CEE du Conseil, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles.

Arrêté du 7 septembre 2009 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅.

Direction de l'information légale et administrative, Journal officiel de la République française, 19 avril 2011, Réponse à la Question n° 73941, p. 3959.

Arrêté du 27 avril 2012 relatif aux modalités de l'exécution de la mission de contrôle des installations d'assainissement non collectif.

Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères—Volume I Considérations d'ordre politique et réglementaire (2012).

Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères—Volume IV Utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture (2012).

Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts.



Règlementation Environnementale RE2020 relative aux nouvelles constructions de bâtiments en réponse aux lois de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV 2015) et Évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (ELAN 2018).

Arrêté du 30 mars 2023 relatif à la mise en œuvre d'une expérimentation portant sur le traitement des eaux ménagères par des installations d'assainissement non collectif constituées d'un filtre à broyat de bois.

Annuaire

Organismes – Fédérations – Associations (liste non exhaustive)

Ces réseaux d'acteurs produisent des documentations de séparation à la source des excréments :

RAE :

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

SUSANA :

<https://www.susana.org>

NETSAN :

<https://www.netsan.org>

VALOO :

<https://va-loo.ch/francais/>

ECOSANRES :

<http://www.ecosanres.org>

Arceau Île-de-France

<https://arceau-idf.fr/groupe-de-travail/gtt-separation-la-source>

Documentation – Formation – Séminaires (liste non exhaustive)

Institutions et encadrements des pratiques

ODD :

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

PANANC :

<https://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/pananc-r117.html>

Liste de codification des déchets :

<https://aida.ineris.fr/reglementation/liste-codification-dechets-annexe-ii-larticle-r-541-8>

Guides OMS :

<https://iris.who.int/handle/10665/78280>

Autres documentations, retours d'expériences et perspectives

<http://www.ecosanres.org>

<https://www.cooperative-equilibre.ch/eco-toilettes/>

<https://ingenius.ecoledesponts.fr/articles/enville/>

<https://www.epnac.fr/>

<https://www.blog-saintvincentdepaul-leprojet.fr/blog/68/la-collecte-des-urines-un-sujet-serieux>

<https://resiliencealimentaire.org>

<https://afterres2050.solagro.org/>

<https://storymaps.arcgis.com/stories/495f0ceb57044510b121d2f144e8acbd>

Laboratoires – Bureaux d'études – Écoles – Centres de recherche (liste non exhaustive)

Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU), Ecole des Ponts, univ. Paris Est Creteil, France :

<https://www.leesu.fr/ocapi>

Groupe TEAM, département Ville Durable, Cerema, France :



<https://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/recherche/equipes/team-transferts-interactions-lies-eau-milieu-construit>

Equipe SYMBIOSE, Toulouse Biotechnology Institute (TBI), France :

<https://www.toulouse-biotechnology-institute.fr/poles/equipe-symbiose/>

Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Suède :

<https://www.slu.se/>

Stockholm Environment Institute (SEI), Suède :

<https://www.sei.org/>

Eawag (Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau), Suisse :

<https://www.eawag.ch/fr/recherche/humanite/eaux-usees/exploitationdecentralisee-des-ressources-issues-des-eaux-usees/>

