



HAL
open science

Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?

Mathilde Besson, Florent Brun, Stéphane Garnaud-Corbel, Bernard de Gouvello, Michel Lafforgue, Tristan Martin, Christophe Merotto, Franck Montauzon, Etienne Paul, José-Frédéric Deroubaix, et al.

► To cite this version:

Mathilde Besson, Florent Brun, Stéphane Garnaud-Corbel, Bernard de Gouvello, Michel Lafforgue, et al.. Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?. Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?, 2021, 36 p. hal-04316755

HAL Id: hal-04316755

<https://hal.science/hal-04316755>

Submitted on 30 Nov 2023

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.



Quel intérêt pour la **séparation à la source** dans la gestion des **eaux usées domestiques** en France ?

Adaptation et actualisation du document

Do we need New Alternative Sanitation Systems in Germany? (DWA, 2010)

Coordination de l'ouvrage : Fabien Esculier (OCAPI/LEESU/Ecole des Ponts ParisTech), Marine Legrand (OCAPI/LEESU/Ecole des Ponts ParisTech), Jean-Pierre Tabuchi (SIAAP).

Rédaction : Marine Legrand et Fabien Esculier (OCAPI/LEESU/Ecole des Ponts ParisTech).

Contributions : Mathilde Besson (TBI/INSA Toulouse), Florent Brun (Réseau de l'Assainissement Ecologique), Stéphane Garnaud-Corbel (Office français de la biodiversité), Bernard de Gouvello (OCAPI/LEESU/CSTB), Michel Lafforgue (Suez Consulting), Tristan Martin (OCAPI/ECOSYS/INRAE), Christophe Merotto (Ecocentre Pierre et Terre), Franck Montauzon (Un petit coin de paradis), Etienne Paul (TBI/INSA Toulouse), José-Frédéric Deroubaix (LEESU/Ecole des Ponts ParisTech).

Responsable d'édition : Irina Severin (ARCEAU-IdF).

Cet ouvrage a été édité en concertation avec les membres du groupe de travail thématique de l'association ARCEAU-IdF nommé « Séparation à la source » :

Anne-Sophie Allonier-Fernandes, Jean-Pierre Pruvost, Hosni Dridi (Agence de l'Eau Seine Normandie) ; Céline Lagarrigue (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse) ; Muriel Floriat (Amorce) ; Mercedes Bah-Szlemp, Tristan False (Aquacoop) ; Sébastien Beaudeau (Aquatiris) ; Mathieu Rolland (Atelier d'assainissement circulaire) ; Frédéric Bertrand (Atelier parisien d'urbanisme) ; Damien Jean (Berim) ; Anne Rieth de Jonghe (Conseil Départemental des Hauts de Seine) ; Johanna Jaouen, Julien Paupardin (Conseil départemental de Seine Saint-Denis) ; Laurent Dechesne (Cluster EMS) ; Julie Faure, Michelle Brosseau, Laurent Tellechea, Isabelle Kamil (DRIEAT-Île-de-France) ; Emmanuel Morin (Ecodomeo) ; Benjamin Clouet (Ecossec) ; Julie Tissot (Etablissement Public d'Aménagement Paris-Saclay) ; Nicolas Bel (Evoloop) ; Sandrine Potier (FNCCR) ; Stanislas Cambonie (Les Gandousiers) ; Mathilde Besson, Etienne Paul (INSA Toulouse) ; François Prévot (Institut de physique du globe) ; Manuel Pruvost-Bouvatier (Institut Paris Région) ; Jean-Christophe Aguas (Le sommer environnement) ; Aurélie Joveniaux, Bernard De Gouvello, Jean-Claude Deutsch, Julie Gobert, José-Frédéric Deroubaix, Julien Le Roux (Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes urbains) ; Florent Brun (Réseau de l'Assainissement Ecologique) ; Elisabeth Sibeud, Gaël Lorini, Mauranne Valdefener (Métropole Grand Lyon) ; Laurent Ouvrard (Oasiis) ; Esterelle Villemagne, Pierre-François Staub, Stéphane Garnaud-Corbel (Office français de la biodiversité) ; Gilles Neveu (OIEAU) ; Ghislain Mercier (Paris & Métropole Aménagement) ; Christophe Merotto (Ecocentre Pierre et Terre) ; Michel Lafforgue (Suez Consulting) ; Pierre Colombot (Sanisphère) ; Caroline Marc, Frédéric Darsaut (SIAAP) ; Eric Chanal (SIAH) ; Jérôme Larousserie (Syndicat de l'Orge) ; Sylvain Réau (Toilettes and co) ; Franck Montauzon, Mathieu Prével (Un petit coin de paradis) ; Louise Raguét (Urinoirs Marcelle) ; Patrick Ratter (Valenton - Grand Orly Seine Bièvre) ; Brigitte Durand, Etienne Dufour, Léon Garaix, Pascal Harder, Helene Erlichman, Mathide Sageot (Ville de Paris) ; Nadège de Chambrier (Vuna).



Quel intérêt pour la
séparation à la source
dans la gestion des
eaux usées domestiques
en France ?

Préambule



La gestion de l'eau en ville doit aujourd'hui faire face à de nombreux défis : changement climatique, croissance démographique et mouvements de population, augmentation du prix des matières premières, pénurie d'eau douce, eutrophisation, tensions sur l'approvisionnement alimentaire, etc. Face à ces problématiques, une question se pose : les systèmes de gestion des effluents urbains actuels sont-ils capables de faire face ?

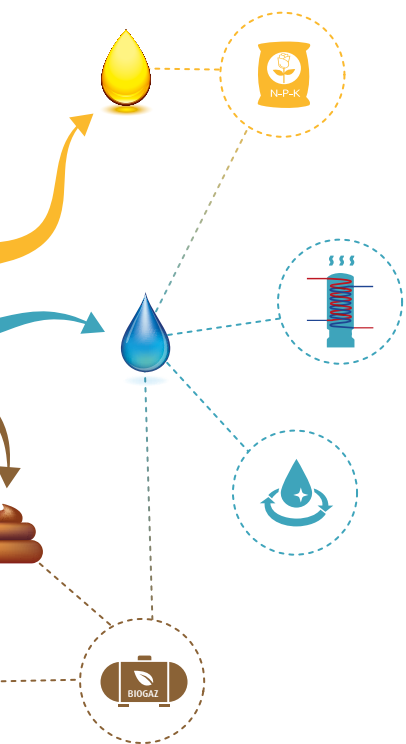
En France, l'approche actuellement majoritaire de la gestion collective des effluents urbains (voir encadré) s'appuie sur les réseaux d'égout et le traitement centralisé des eaux usées domestiques et industrielles, parfois mélangées aux eaux pluviales. Or ce système centralisé montre de plus en plus ses limites. Ses objectifs d'origine, à savoir la limitation de la stagnation de l'eau en ville et l'évacuation rapide, hors des quartiers desservis, de matières susceptibles de nuire à la salubrité publique, ont largement été atteints. Mais ce système se révèle rigide et peu efficace en termes de consommation de ressources. Il repose sur des coûts d'investissement et de fonctionnement importants et ces coûts augmentent à mesure que des fonctions supplémentaires s'imposent aux systèmes d'assainissement. Cette augmentation des coûts est inhérente à un paradigme de gestion « au bout du tuyau » qui induit la mise en œuvre de traitements curatifs, pensés au prisme de la protection des milieux aquatiques face au déversement d'eaux usées non traitées (traitement du carbone, de l'azote réduit, de l'azote oxydé, du phosphore, des microorganismes, des micropolluants, etc.).

Certaines villes croissent et/ou doivent reconstruire leur STEU (station de traitement des eaux usées), une opportunité à saisir pour envisager d'intégrer des nouvelles façons de gérer les effluents urbains. A contrario, plusieurs régions font face à une baisse de leur démographie. Dans ces secteurs, les réseaux de collecte et de transport et les STEU se retrouvent alors surdimensionnés, conduisant à une augmentation mécanique de la facture d'eau par personne et de plus en plus de problèmes techniques. Enfin, la majorité des rivières de France voient leur débit d'étiage diminuer du fait des effets du changement climatique : cela met en tension le paradigme de la dilution des eaux usées traitées dans les rivières et impose une augmentation du rendement et de la fiabilité des traitements, interrogeant également la gestion centralisée des eaux pluviales (mauvais branchements, by-pass, déversements par temps de pluie, etc.). Face à ces types de situation, la séparation à la source peut jouer un rôle clé.

ASSAINISSEMENT ET GESTION DES EFFLUENTS URBAINS

L'**assainissement** renvoie à l'action d'assainir les lieux habités, de les maintenir dans un bon état sanitaire : il comprend la maîtrise des sources possibles de maladies, telles que les excréments humains.

La notion de **gestion des effluents urbains** correspond à la prise en charge collective des effluents tels que les excréments humains, les eaux ménagères et les eaux pluviales. Cette notion intègre l'assainissement de l'environnement urbain vis-à-vis des effluents urbains, ainsi que d'autres fonctions telles que la valorisation des ressources contenues dans ces effluents.



Sommaire

6

Devrions-nous séparer nos effluents comme nous séparons nos déchets ?

8

Saviez-vous qu'il existe une grande diversité de toilettes qui fonctionnent sans chasse d'eau ?

10

Savez-vous que la séparation à la source peut présenter de nombreux avantages économiques et écologiques ?

12

Quelle réglementation s'applique aux matières issues de la séparation à la source ?

13

Comment valoriser les eaux ménagères ?

15

Comment les systèmes d'assainissement actuels peuvent-ils intégrer la séparation à la source ?

16

Tout changement crée une opportunité

17

Différents contextes pour la mise en œuvre de la séparation à la source

ANNEXES

20 Exemples de projets dotés de systèmes de séparation à la source

23 Collecte séparée des urines

25 Collecte séparée des matières fécales

26 Séparation des trois flux (urines, fèces, eaux ménagères)

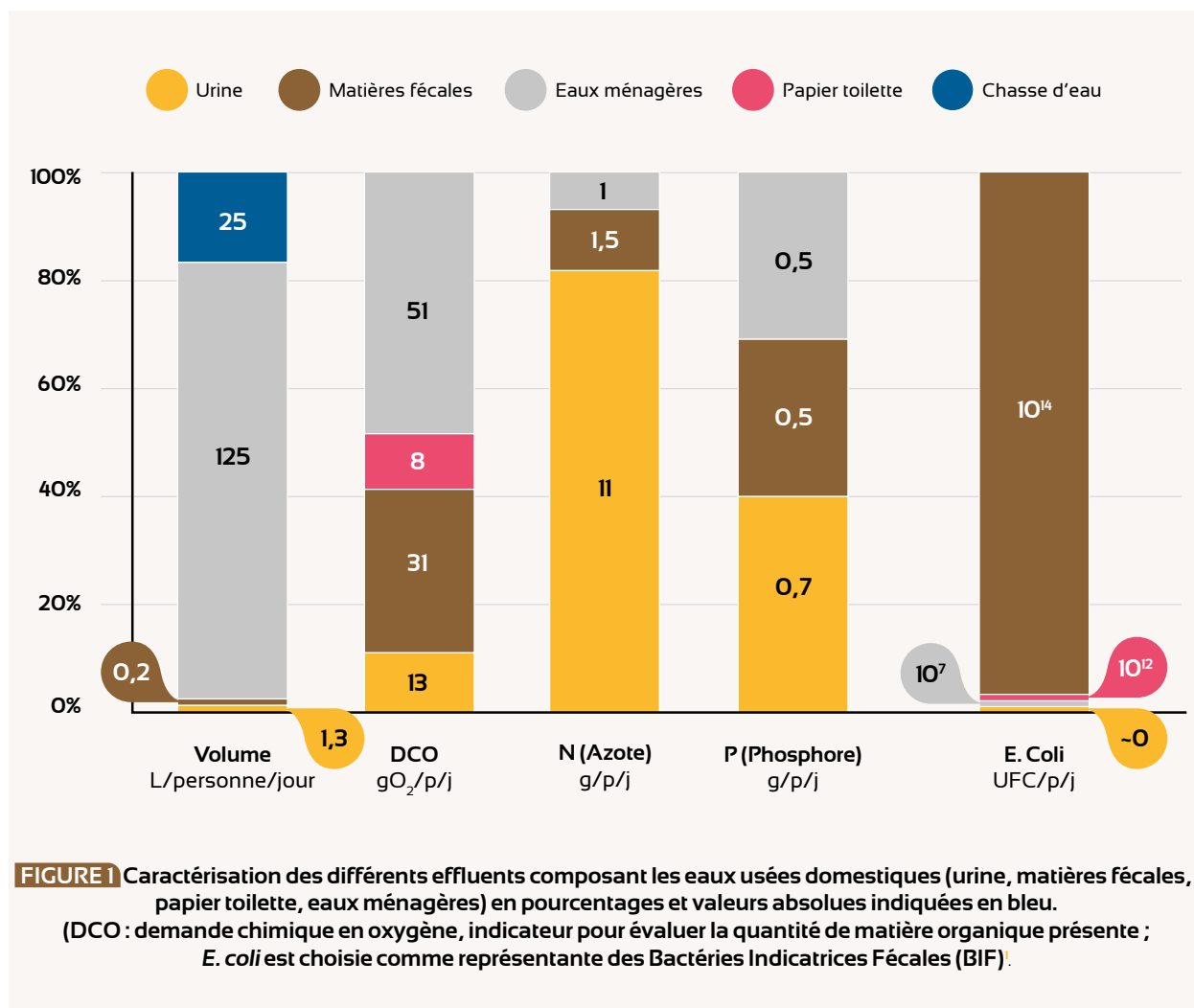
30 Sources citées

32 Glossaire

33 Notes

Devrions-nous **séparer nos effluents** comme nous séparons nos déchets ?

La séparation à la source s'appuie sur le principe d'une séparation des flux, depuis la production de l'effluent, la collecte et le transport, jusqu'au traitement et à l'utilisation des ressources qu'ils contiennent. Un des intérêts d'implanter la séparation à la source réside ainsi dans la possibilité de valoriser l'eau et les substances utiles aujourd'hui mélangées dans les eaux usées, en particulier les nutriments et la matière organique (voir figure 1).



¹ Sources : OMS, 2012 ; FRIEDLER *et al.*, 2013 ; ANSES, 2015 ; ESCULIER *et al.*, 2018. Les valeurs présentées correspondent à des données collectées dans la période 2010 - 2015 et sont des valeurs de référence susceptibles de variations importantes selon les contextes.

Des concepts similaires ont été formulés, tels que « assainissement écologique » (en anglais Ecosan pour ECOlogical SANitation), « productif », « orienté vers la ressource », « soutenable », « décentralisé », ou encore « les nouvelles techniques alternatives d'assainissement ». Cinq cas différents peuvent être distingués, du point de vue des flux considérés, et des techniques impliquées dans leur collecte (voir figure 2).

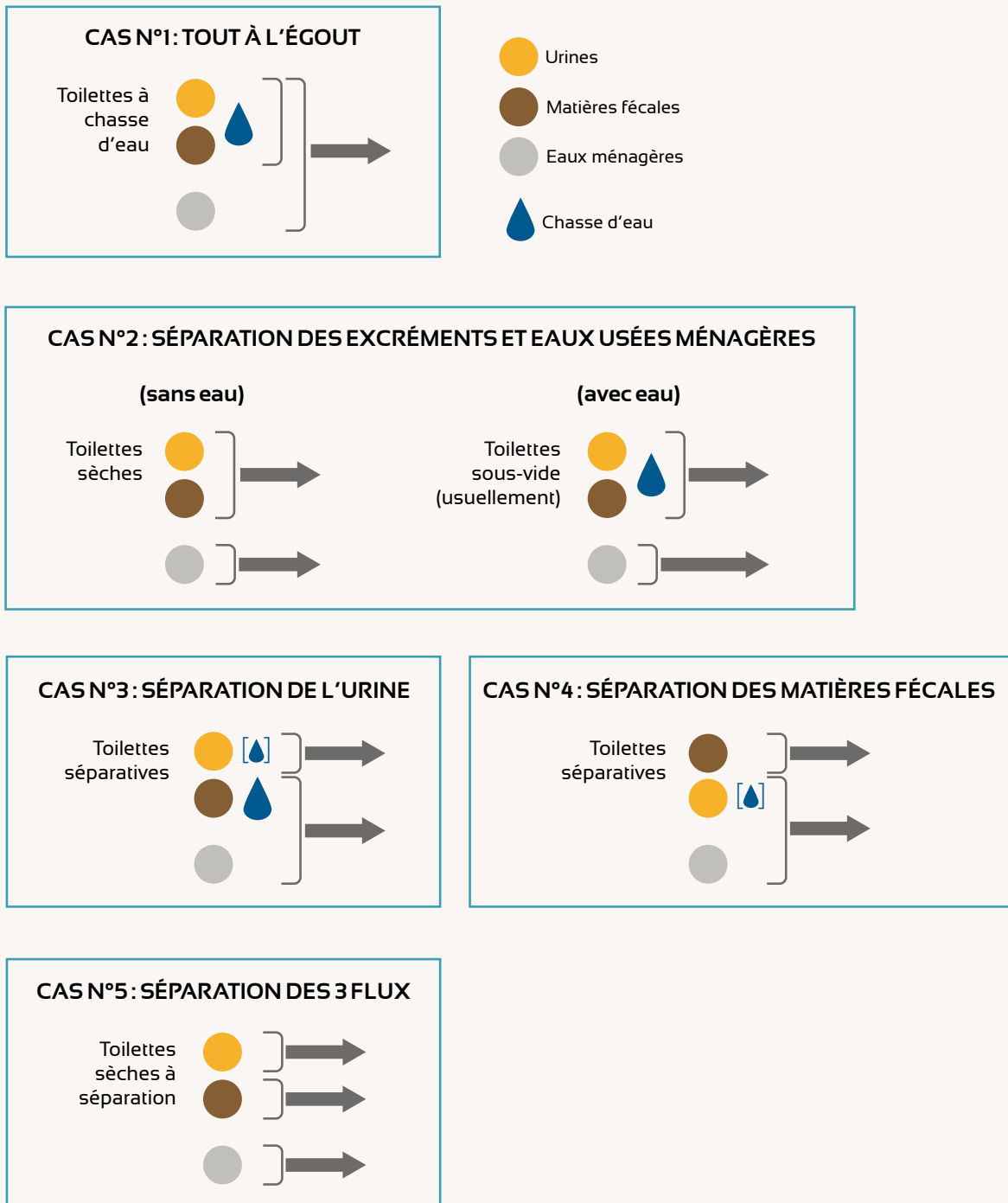


FIGURE 2 Classement des systèmes de gestion des effluents domestiques, en fonction des types de flux considérés séparément.

Saviez-vous qu'il existe une grande diversité de toilettes qui fonctionnent **sans chasse d'eau** ?

De la collecte au traitement des effluents, différentes techniques rendent possible la séparation des différents flux identifiés et la valorisation des ressources qu'ils contiennent. Les toilettes sans chasse d'eau sont d'une grande diversité, souvent méconnue, et peuvent s'adapter à de nombreux contextes (voir le cas des toilettes à compost figure 3).

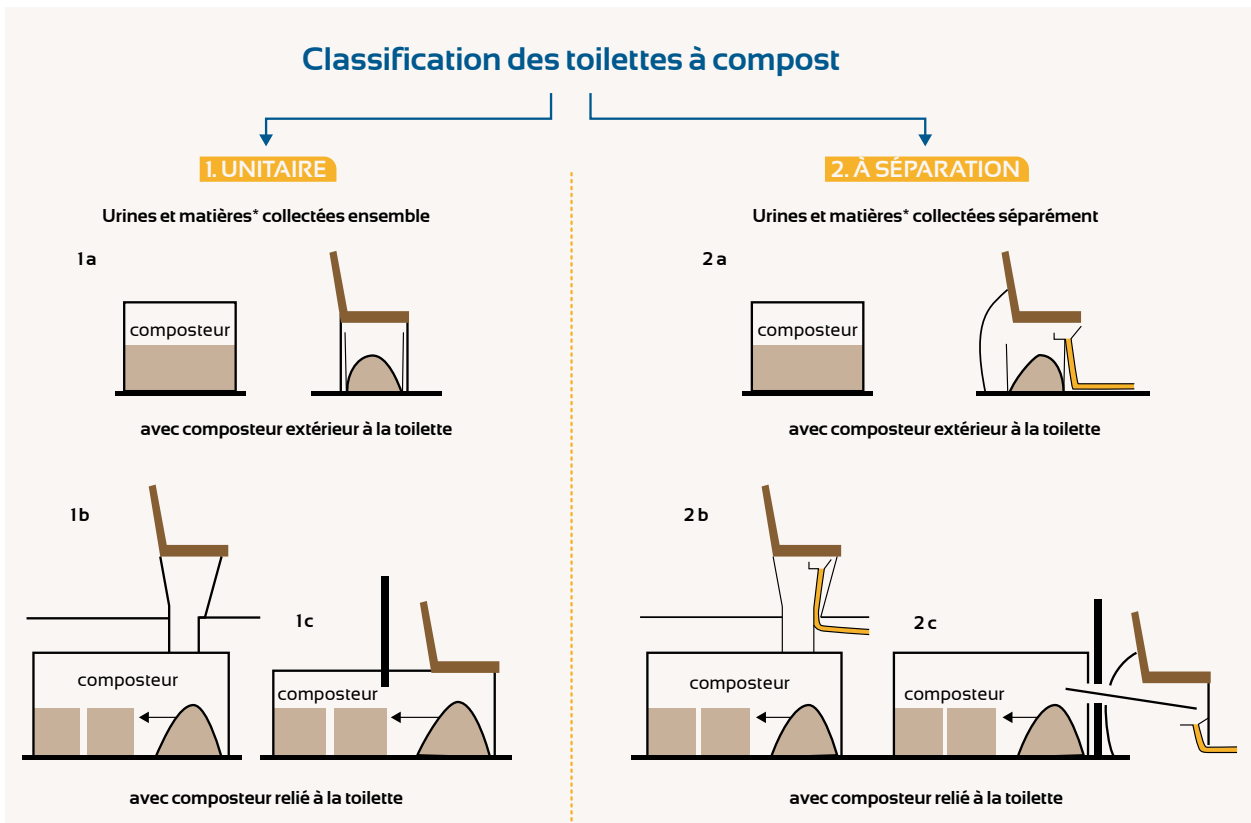


FIGURE 3 Classification des toilettes à compost. Source : Adapté du Réseau de l'Assainissement Écologique.

* composées des matières fécales et du papier toilette.

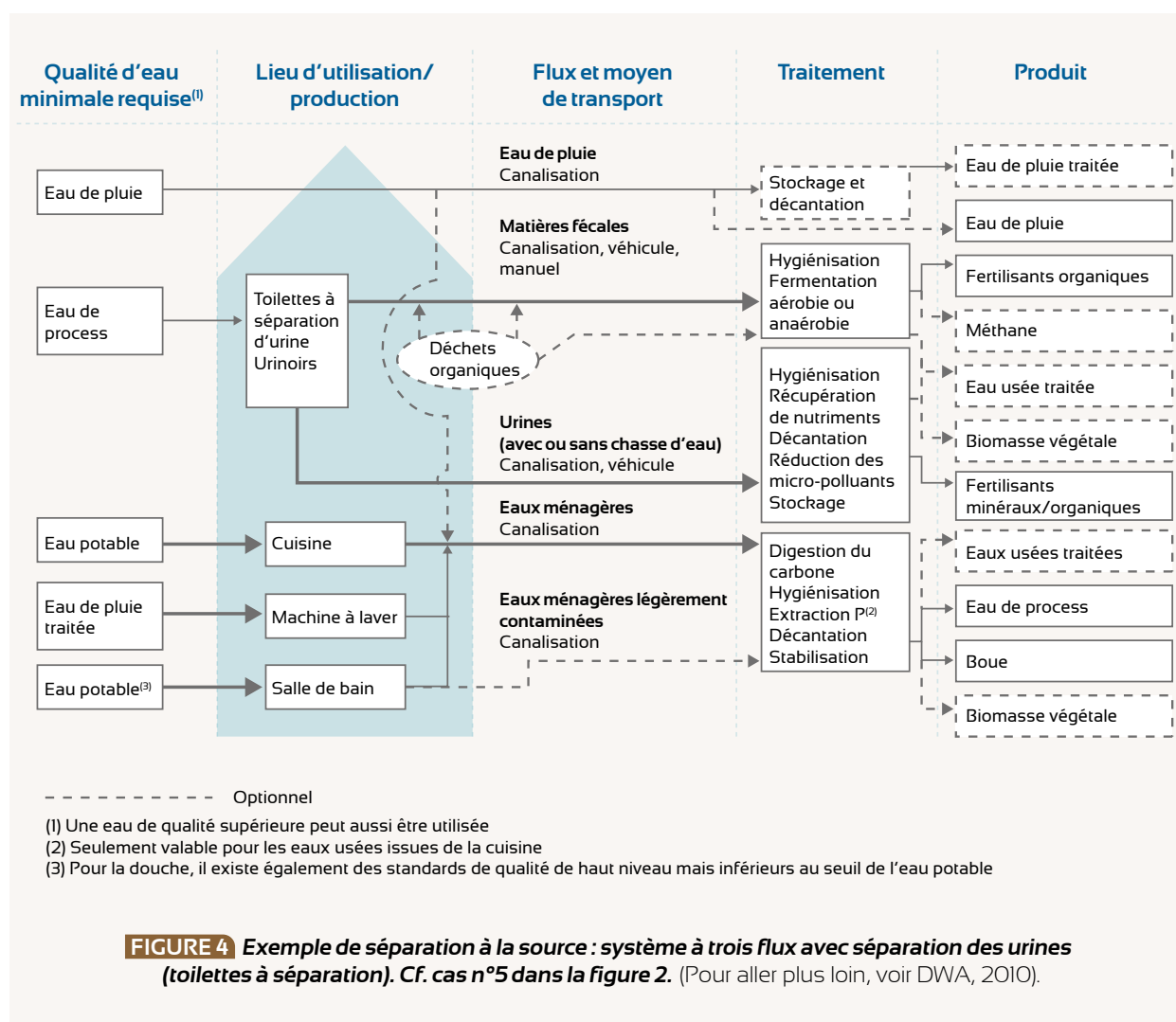
Toilette unitaire : 1a : les urines et matières sont collectées ensemble avant d'être vidangées dans un composteur situé à l'extérieur du bâtiment. **1b et c** : les urines et matières sont collectées et traitées ensemble dans un composteur relié à la toilette. Sur sol étanche, les liquides sont collectés gravitairement pour être traités.

(b : composteur sous la toilette ; c : composteur derrière la toilette).

Toilette à séparation : 2a : les urines sont séparées pour être traitées. Les matières sont vidangées dans un composteur situé à l'extérieur du bâtiment. **2b et c** : les urines sont séparées pour être traitées. Les matières sont traitées dans un composteur relié à la toilette (b : composteur sous la toilette ; c : composteur derrière la toilette (avec ou sans tapis)).

Certains modèles sont unitaires (collecte conjointe des urines et matières fécales), d'autres sont à séparation d'urine et peuvent permettre la collecte séparée des urines et des matières fécales, de façon inodore et sans chasse d'eau. Cette séparation peut intervenir dès la cuvette ou être réalisée ensuite, par exemple par gravité. L'urine peut également être collectée par des urinoirs sans chasse d'eau, masculins ou féminins. Elle peut aussi être collectée par des toilettes à chasse d'eau à séparation d'urine. Certains systèmes utilisent très peu d'eau : les toilettes sous vide permettent la collecte des urines et des matières fécales par un tuyau sous vide et une gestion séparée des eaux ménagères. Enfin, la centrifugation permet de séparer les matières fécales de l'eau et peut être réalisée par simple gravité en pied d'immeuble.

Le système type « triple flux » avec séparation d'urine (voir figure 4) forme l'un des cinq types de séparation à la source existants. Dans ce système, l'urine, les matières fécales et les eaux ménagères sont collectées et traitées séparément. Le traitement de l'urine conduit usuellement à la production de fertilisants minéraux d'origine biologique, sous forme solide ou liquide. Le traitement des matières fécales peut permettre la production de fertilisants organiques. Le carbone des matières fécales peut être valorisé de diverses manières : compost, méthane, combustible, etc. Enfin les eaux ménagères, traitées à part, peuvent être valorisées et réutilisées à différentes fins.



Savez-vous que la séparation à la source peut présenter de nombreux avantages économiques et écologiques ?

La synthèse d'engrais azotés industriels nécessite de grandes quantités d'énergie, fournies par les hydrocarbures fossiles émetteurs de gaz à effet de serre. Les ressources concentrées en phosphore sont limitées et de moins en moins accessibles. Cela conduit à des pénuries de fertilisants et une augmentation des prix. Tous les engrais minéraux azotés et phosphorés consommés en France proviennent de ressources situées à l'étranger. Pour de nombreux agriculteurs, dans les pays les moins riches, les engrais minéraux sont déjà économiquement inaccessibles.

Les eaux usées domestiques contiennent des quantités significatives de nutriments utiles aux plantes (azote, phosphore, potassium, etc.). En effet, la quasi-intégralité des nutriments que nous ingérons se retrouvent au final dans nos excréments : majoritairement dans l'urine, secondairement dans les matières fécales. En France, la valeur de ces nutriments est encore largement sous-estimée et, sur la majorité du territoire, « l'élimination » du phosphore et de l'azote est opérée au prix d'investissements massifs et d'une importante dépense d'énergie. La séparation à la source, à l'inverse, peut permettre de sortir d'une logique d'élimination et de chercher à produire des substances qui peuvent être utilisées comme fertilisants. L'efficacité des fertilisants issus de la séparation à la source a fait l'objet de nombreuses évaluations montrant leur fort potentiel. Sans changement des pratiques agricoles, environ 20 % des fertilisants minéraux utilisés à l'heure actuelle en France pourraient être remplacés par des produits issus de la séparation à la source. En considérant une évolution des régimes

alimentaires et un développement des pratiques agro-écologiques, la séparation à la source peut permettre à terme de se passer totalement des engrais minéraux azotés et phosphorés (Le Noë et al., 2020 ; Billen et al., 2021).

L'urine humaine, en particulier, peut être utilisée comme engrais avec un traitement par simple stockage². Les particuliers peuvent ainsi très facilement l'utiliser dans leur propre jardin, sans risques sanitaires. L'urine traitée par stockage est également adaptée à une utilisation en agriculture.

Deux risques principaux sont à prendre en compte :

1. La présence de pathogènes, principalement issus de la contamination par les matières fécales. Le stockage constitue un traitement suffisant pour permettre une utilisation sûre de l'urine sur le plan sanitaire. Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sont alors à appliquer (OMS, 2012) ;
2. La présence de micropolluants organiques : résidus médicamenteux, résidus hormonaux, résidus de produits de soins corporels, etc. Il n'y a pas de consensus scientifique actuellement sur le problème posé par ces micropolluants contenus dans l'urine : certains considèrent que l'urine peut être utilisée comme engrais en agriculture malgré la présence de ces micropolluants, d'autres non et proposent alors souvent d'appliquer à l'urine un traitement spécifique des micropolluants (cf. Goulas et al., 2020 pour plus de détails).

² Le traitement de l'urine par stockage permet une hygiénisation de cette dernière, principalement par l'ammoniac libéré lors de l'hydrolyse de l'urée. La durée de stockage recommandée sans nouvel apport varie de 1 à 6 mois selon les cas (OMS, 2012). Pour plus d'information, voir Brun, 2019 ; Martin et al., 2020.

Le stockage de l'urine est un mode de traitement particulièrement adapté à l'habitat peu dense. L'urine d'une personne collectée sur une année permet de fertiliser autour de 500 m² de cultures. Pour les acteurs agricoles, l'urine stockée est un fertilisant peu concentré qui nécessite des volumes importants si elle est la seule source de matières fertilisantes apportées (environ 30 m³/ha pour une culture céréalière conventionnelle). Les contraintes organisationnelles et techniques, au niveau de l'exploitation agricole, sont à anticiper. Une fois l'urine séparée, de nombreux autres traitements peuvent être effectués pour stabiliser l'azote dans une forme qui limite les pertes par volatilisation lors de l'épandage ou lors d'un traitement de réduction du volume. Il est possible de produire des fertilisants concentrés ayant des concentrations en azote se rapprochant de celle des engrais minéraux (jusqu'à 24 % d'azote si l'urine est déshydratée), voire davantage en cas de traitement extractif.

Les analyses de cycles de vie réalisées sur les filières de séparation à la source montrent un gain réel sur l'impact de la gestion des excréments humains sur l'environnement quand (1) l'azote est séparé des eaux usées et non plus traité de manière biologique par nitrification/dénitrification, (2) l'azote est valorisé en agriculture en substitution aux engrais minéraux conventionnels. En effet, le traitement de l'azote dans les stations de traitement des eaux usées peut émettre des quantités importantes de gaz à effet de serre, notamment du protoxyde d'azote (N₂O) et la synthèse des engrais chimiques azotés est également très impactante.

Bisinella *et al.* (2015) ont montré, sur une filière-type de séparation de l'urine, une division par deux des émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport à la situation sans séparation, en considérant une séparation de 50 % des urines d'une ville. Le constat reste identique (diminution de 45 % des émissions) en comparant la séparation des urines avec des systèmes avancés de récupération des nutriments sur la station de traitements des eaux usées (Besson *et al.*, 2021). Martin (2020) a montré que, dans des configurations simples et réalistes (urine stockée et épandage proche), les émissions de GES pouvaient être divisées par un facteur 3,5 et l'eutrophisation des cours d'eau par 8. Les points de vigilance de la séparation à la source de l'urine sont la volatilisation de l'ammoniac lors de l'épandage au champ et l'énergie consommée pour le traitement. Le risque de volatilisation peut être géré par la méthode d'apport sur les cultures. Une grande variété de matières fertilisantes différentes, nommées urino-fertilisants, peuvent être produites à partir de l'urine humaine. Le choix des urino-fertilisants sera à adapter en fonction des configurations territoriales.



Urinoir sec avec collecte et valorisation d'urine

Quelle réglementation s'applique aux matières issues de la séparation à la source ?

Pour le moment, il n'existe aucun cadre réglementaire clair pour l'utilisation de matières issues de la séparation à la source en France. Les bonnes pratiques sont en revanche déjà encadrées par l'OMS (OMS, 2012). Pour encadrer l'utilisation des matières issues de la séparation à la source, il est souhaitable de prévoir une évolution de la réglementation. Pour les traitements conduisant à des produits spécifiques, il conviendra d'obtenir leur normalisation ou leur homologation, de manière à ce que ces produits entrent dans les systèmes de régulation relatifs aux fertilisants, et que leur utilisation devienne pleinement légale. À ce jour, l'utilisation des matières issues de la séparation à la source peut au moins entrer dans le cadre des rubriques 2.1.3.0 (épandage des boues issues du traitement des eaux usées) ou 2.1.4.0 (épandage d'effluents) de la loi sur l'eau. Les seuils de déclaration sont respectivement de 0,15 et 1 tN/an soit environ 30 et 200 m³ d'urine.

Par ailleurs, les matières fertilisantes issues du traitement des excréments humains ne sont pas explicitement listées dans les matières autorisées en agriculture biologique à l'heure actuelle.

D'autres éléments réglementaires peuvent également être mentionnés ici :

- › Pour les installations d'assainissement non collectif, les conditions du traitement des matières de toilettes sèches sont précisées dans l'arrêté ministériel relatif à l'Assainissement Non Collectif (07/12/2009). Cet arrêté est toutefois en cours de révision au moment de la rédaction de ce document ;
- › 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).



Épandage d'urino-fertilisant sur maïs³

³ Seuls les urino-fertilisants sans risque de volatilisation (urine nitrifiée, urine acidifiée, etc.) peuvent être épandus avec des rampes à buses. L'urine simplement stockée, par exemple, doit être épandue avec du matériel adapté du type enfouisseurs, rampes à pendillards...

Comment valoriser les eaux ménagères ?

Les eaux ménagères correspondent à l'ensemble des effluents domestiques autres que les effluents provenant des toilettes, soit principalement les eaux issues des douches, baignoires, lavabos, lave-linges, éviers, lave-vaisselle et lavage des sols. La valorisation des eaux ménagères porte principalement sur la valorisation de l'eau, de la chaleur et des substances qu'elle contient (dont la matière organique). La valorisation de l'eau a d'abord émergé dans les pays touchés par un fort stress hydrique. Les usages permis par les réglementations existantes sont différents en fonction des contextes régionaux, allant notamment de l'irrigation des cultures, arrosage des espaces verts, protection incendie, alimentation des chasses d'eau, lavage extérieur – voitures, mobilier, terrasse –, jusqu'au lavage du linge, des sols à l'intérieur du bâtiment, au refroidissement de l'air et à l'alimentation des fontaines d'eau décoratives.

La valorisation des eaux ménagères à l'échelle domestique

À l'échelle domestique, l'utilisation des eaux ménagères permet d'éviter d'utiliser de l'eau potable pour des usages où cette qualité n'est pas requise. Elle peut typiquement permettre jusqu'à un tiers d'économies d'eau. L'utilisation des eaux ménagères offre également des bénéfices au niveau collectif, permettant en particulier d'éviter le surdimensionnement des réseaux de collecte et de traitement des eaux usées. L'énergie thermique des eaux ménagères est environ quatre fois plus importante que l'énergie chimique des eaux usées

mais elle est davantage diffuse. La récupération de cette chaleur permet des économies d'énergie et peut en outre éventuellement être couplée à la valorisation de l'eau. Dans une optique de séparation à la source, la valorisation décentralisée des eaux ménagères s'avère enfin complémentaire du traitement décentralisé des excréments.

Dispositions réglementaires

Si l'utilisation d'eaux ménagères recyclées au sein du bâtiment fait l'objet de réglementations ou de recommandations dans différents pays (notamment Japon, Australie et une partie des États-Unis), il n'existe pas à ce jour de réglementation française spécifique sur ce thème⁴. En revanche, un avis de l'ANSES (2015) recommande d'éviter l'utilisation des eaux ménagères issues des cuisines qui présentent une forte charge en matières organiques et particulaires (notamment les graisses). À l'instar de ce que prévoit l'arrêté du 21 août 2008 pour l'utilisation de l'eau de pluie⁵, cet avis recommande d'interdire leur utilisation dans certains types de bâtiments, notamment les établissements de santé, d'hébergement de personnes âgées et d'accueil de jeunes enfants. Enfin, il propose de définir deux catégories d'exigence en termes de niveau de traitement, en fonction des usages : (1) arrosage des espaces verts et irrigation (exigences identiques à celles concernant la réutilisation des eaux usées traitées)⁶, (2) alimentation des chasses d'eau et lavage des surfaces extérieures pour lesquels les limites de qualité doivent être définies.

⁴ On peut signaler qu'en dépit de cette absence, une forme minimaliste de recyclage direct d'eaux ménagères est tolérée au travers de la vente, par les Grandes Surfaces de Bricolage, de lavabos d'appoint surplombant les chasses d'eau des toilettes (l'eau utilisée pour le lavage des mains vient remplir une partie du réservoir de chasse d'eau).

⁵ L'utilisation des eaux de pluie est partiellement régie par l'arrêté du 21/08/2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

⁶ Arrêté du 2 août 2010, modifié le 25 juin 2014, relatif à « l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts ».

Systèmes de traitement

Les méthodes de traitement visent à minimiser les risques de contamination (microbiologiques et chimiques) ainsi que les éventuelles gênes olfactives associées à l'utilisation des eaux ménagères. Elles doivent être pensées en fonction de leur composition initiale, mais aussi des usages prévus. Deux grandes familles d'usages peuvent ainsi être distinguées : la valorisation au sein du ménage et l'utilisation au jardin. Par ailleurs, en fonction de leur provenance, les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des eaux ménagères varient (*Deshayes et al., 2015*). Ainsi, la température des eaux ménagères, plus élevée pour certains usages (hygiène corporelle, cuisson des aliments, lavage du linge, etc.) est favorable à la croissance de certaines bactéries, de même que les concentrations en azote et phosphore, qui augmentent avec l'utilisation de détergents ammoniaqués, de présence d'urine dans les eaux de la salle de bain, etc. Par ailleurs, les eaux ménagères qui proviennent de l'évier de la cuisine et du lave-vaisselle peuvent présenter de fortes concentrations de résidus d'aliments, d'huiles et de graisses.

Il existe plusieurs solutions de traitement des eaux ménagères, classables en deux grandes familles :

- › Procédés physiques (filtre à sable ou sol, membranes) et chimiques (coagulation-floculation, oxydation photo-catalytique, charbon actif) ;
- › Procédés biologiques (contacteur biologique rotatif, réacteur biologique séquentiel, digesteur anaérobie, bioréacteur à membrane, cultures fixées sur filtres plantés ou filtres à broyat de bois).

Ces dispositifs peuvent être précédés d'une étape de séparation solide-liquide comme prétraitement et suivis, dans le cas d'une utilisation au sein du ménage, d'une étape de désinfection comme post-traitement. La désinfection permet l'abattement des micro-organismes pathogènes susceptibles de présenter des risques pour la santé des usagers et des professionnels assurant l'entretien des installations.

A l'international, la littérature scientifique documente depuis une vingtaine d'années des expérimentations concernant la valorisation des eaux ménagères à l'échelle du bâtiment urbain, en particulier pour les chasses d'eau (*Lazorova et al., 2003*) ou encore plus ponctuellement, pour des usages productifs en toiture tels que l'aquaponie et l'hydroponie (*Million et al., 2018*).



Traitement des eaux ménagères par filtres à broyat de bois

Concernant la valorisation au jardin, il est à noter que les filtres à broyat de bois, couplés à une utilisation des eaux ménagères en irrigation souterraine et/ou recharge de nappe se développent actuellement en France. En attente de cadre réglementaire explicite, ils ont déjà fait la preuve de nombreux avantages (*Brun et al., 2021*), en particulier leur simplicité et sobriété matérielle.

Comment les systèmes d'assainissement actuels peuvent-ils **intégrer la séparation à la source** ?

Les systèmes conventionnels de gestion des effluents urbains ont fourni de nombreux services aux usagers en France durant ces dernières décennies, assortis d'investissements importants. Néanmoins, l'entretien et le renouvellement des infrastructures existantes exigent des investissements supplémentaires conséquents. Les estimations actuelles, concernant le renouvellement complet des systèmes publics d'assainissement, s'élèvent à quelques milliards d'euros par an.

Ces dépenses devront être effectuées dans les années et décennies à venir, de manière à faire face à l'actuel déficit d'investissements. Or une forte incertitude pèse sur la « soutenabilité » de ces dépenses, dans un monde soumis à des changements rapides. Cette incertitude est un moteur fort qui sous-tend le développement de la séparation à la source. L'obligation de procéder à des investissements, dans un environnement changeant, donne lieu à des opportunités pour la mise en œuvre des nouvelles options techniques offertes par la séparation à la source.

La valorisation des ressources issues de la séparation à la source des eaux usées domestiques est complémentaire de la valorisation des ressources collectées au niveau des STEU elles-mêmes (ex. struvite, méthane) ou des eaux usées traitées (en sortie de STEU) lorsque cela s'avère judicieux. Dans une optique d'optimisation de la gestion des effluents urbains en vue de répondre aux enjeux de valorisation des ressources, protection des milieux et baisse des coûts, il y a tout lieu de se projeter vers le développement de solutions mixtes, en ajustant la proportion de valorisation à la source et de système centralisé, en fonction des configurations territoriales (urbanisme, habitat, contexte socio-économique, etc.).

Concernant l'intérêt économique de la séparation à la source, la réduction des consommations d'eau présente aujourd'hui des bénéfices monétaires bien plus importants pour l'utilisateur du service d'assainissement que la revente de fertilisant. Il convient de construire des modèles économiques intégrés, permettant une juste répartition de la valeur ajoutée entre les économies de long terme réalisée par la collectivité pour le traitement des eaux, la fourniture d'engrais pour les acteurs agricoles, la baisse globale des impacts environnementaux et le coût du fonctionnement de ces nouvelles filières. L'intégration de ces coûts montre un bilan économique favorable à la mise en place de séparation à la source (Crolais et al., 2016). Elle peut également s'inscrire dans une refonte du paradigme économique du nexus eau-alimentation (Brun, 2021).



Pain Boucle d'Or du programme OCAP1, fabriqué avec de la farine dont le blé a été fertilisé avec de l'urine humaine

Tout changement crée une opportunité

Les techniques associées à la séparation à la source offrent plus de flexibilité, et de plus grandes possibilités d'adaptation aux conditions changeantes, tant sur le plan démographique, qu'en termes d'exigences de protection de la ressource en eau, ou encore pour faire face aux effets du changement climatique. En outre, ces techniques offrent l'opportunité de limiter l'impact sur la ressource en eau, tout en accédant aux sources d'énergies et de matières fertilisantes (azote, phosphore, etc.) contenues aujourd'hui dans les eaux usées.

La conversion progressive des systèmes d'assainissement actuels vers la séparation à la source représente un défi. Mettre en œuvre des systèmes d'assainissement différents du tout à l'égout peut en effet avoir un impact positif ou négatif sur les infrastructures actuelles. Par exemple, la séparation à la source de certains flux (de même qu'une réduction de la consommation d'eau potable), pourrait affecter les conditions de transport du reste des eaux usées, et conduire à un fonctionnement moins efficace des infrastructures existantes (égouts et STEU). Inversement, certaines STEU peuvent s'adapter à une mise en place de séparation à la source sur leur bassin de collecte tout en améliorant le bilan environnemental global du système d'assainissement (*Wilsenach & van Loosdrecht, 2006*). Ces conséquences doivent être évaluées en amont, ce qui suppose un effort accru en termes de planification de l'implantation de la séparation à la source. Il est aujourd'hui possible d'anticiper ces différents effets en mettant en œuvre une démarche de modélisation. Il convient également de tenir compte de la question du portage budgétaire des investissements déjà réalisés et des frais d'exploitation des infrastructures existantes, donc de l'équilibre budgétaire des services. Ce sujet complexe nécessite une vision globale, incluant les aspects politiques et tarifaires du cycle urbain de l'eau.

Au-delà des expériences déjà réalisées dans les pays voisins (voir ci-dessous), l'implantation de projets pilotes en France est donc indispensable, dans l'optique d'une transformation à plus grande

échelle à long terme. Ces projets pilotes sont nécessaires pour apprendre à maîtriser les aspects techniques mais aussi réglementaires et sociaux. Ils peuvent renforcer l'appropriation de cette approche auprès des différents acteurs sociaux, économiques et politiques concernés. Ces projets pilotes peuvent également faciliter la mise en œuvre de systèmes d'encadrement technique et réglementaire pertinents.

La séparation à la source présente en outre un très fort potentiel au niveau international, en tenant compte du fait que 4 milliards de personnes vivent aujourd'hui avec un système d'assainissement inexistant ou notoirement insatisfaisant, et ce, souvent dans des conditions de pénurie touchant aussi bien l'eau, que l'énergie et les matières fertilisantes. La pratique consistant à répliquer le tout-à-l'égout, développé dans les pays les plus industrialisés, dans d'autres pays mérite d'être questionnée au regard des nombreuses alternatives possibles, des spécificités locales et des pratiques parfois déjà très avancées, en matière de séparation à la source, dans les zones non équipées de tout-à-l'égout.

Afin que les acteurs décisionnaires s'intéressent à la séparation à la source, des mécanismes incitatifs doivent être mis en place. L'Agence de l'Eau Seine-Normandie a ainsi décidé, depuis octobre 2018, de subventionner jusqu'à 80 % les projets de séparation à la source ce qui permet de créer un effet levier territorial. À l'heure actuelle, il semble nécessaire que les enjeux de la séparation à la source soient appropriés par les différents acteurs (acteurs publics, entreprises, citoyens, associations) à toutes les échelles. Cette appropriation permettra de fédérer les multiples initiatives locales déjà existantes afin de favoriser leur intégration dans les stratégies territoriales de gestion de l'eau et des systèmes alimentaires. Il conviendra également que la France se dote d'une politique publique de stratégie de gestion des excréments humains et des eaux domestiques, dans le cadre d'une transition écologique et solidaire et en lien avec les politiques de la santé publique, de l'énergie, de l'agriculture et de l'eau.

Différents contextes pour la mise en œuvre de la séparation à la source

Différents contextes peuvent être considérés comme prioritaires pour la mise en œuvre de projets de séparation à la source des eaux usées. Il convient d'abord de distinguer la mise en œuvre matérielle d'infrastructures et la mise en place de nouveaux services (exploitation, logistique de filière, etc.). Par ailleurs, la séparation à la source peut se révéler notamment utile dans plusieurs types de situations.

1. Sites concernés du fait de leur configuration

En termes d'enjeux environnementaux, la séparation à la source s'avère particulièrement pertinente dans différents types de situations :

- › **Les villes en croissance rapide** (en particulier les métropoles) dont la taille dépasse largement la capacité du milieu à les approvisionner en eau et supporter les pollutions émises. C'est particulièrement drastique lorsque ces villes reposent sur un cours d'eau de faible débit par rapport à leur taille (ex. métropole parisienne en France). Allant plus loin, quelle que soit la dynamique démographique, la question de la disproportion entre la taille d'une agglomération et celle du cours d'eau dont elle dépend peut justifier à elle seule de prendre la voie de la séparation à la source. Pour certains cours d'eau, l'objectif de bon état de la Directive Cadre sur l'Eau est considéré comme impossible à atteindre avec une gestion conventionnelle des effluents urbains mais pourrait être atteint grâce à la séparation à la source ;
- › **Les villes en décroissance** : il existe en France de nombreuses villes petites à moyennes qui décroissent en population, et doivent donc réinventer leur assainissement. Le problème concerne surtout l'entretien des réseaux dont les coûts deviennent disproportionnés.

Une solution – déjà appliquée en Allemagne – peut consister à déconnecter les réseaux de certains quartiers, devenus peu habités pour y mettre en place la séparation à la source.

- › **Le contexte insulaire**, qui combine souvent une population importante vis-à-vis de la disponibilité en eau douce, un accès limité aux ressources économiques et un milieu naturel particulièrement fragile. Cela s'applique aussi bien aux petites îles (ex. atolls de Polynésie, archipel breton des îles du Ponant) qu'aux plus grandes (ex. La Réunion, Martinique, Guadeloupe).

- › **Les zones touristiques et les milieux naturels fragiles** : les zones touristiques présentent un enjeu important du fait des concentrations saisonnières de visiteurs, et donc d'effluents, qu'elles accueillent et d'une population parfois peu concernée par les enjeux environnementaux locaux. La saisonnalité de la fréquentation pose la question du dimensionnement des équipements d'assainissement centralisés, qui peuvent se révéler insuffisants par rapport à la charge reçue en haute saison, ou inversement, surdimensionnés en basse saison.

Par ailleurs, les milieux naturels fragiles sont concernés, d'autant plus qu'ils font l'objet d'une fréquentation touristique (littoral, montagne, lacs et autres milieux oligotrophes⁷). L'état des écosystèmes s'y trouve fortement altéré par le rejet d'eaux usées, même dans le cas où elles sont traitées selon les normes en vigueur,

- *exemple des milieux montagneux* : sont concernés aussi bien les stations de sports d'hiver, que les refuges de haute montagne, les restaurants d'altitude, etc.
- *exemple des milieux littoraux* : sont concernés aussi bien les stations balnéaires qui concentrent hôtels et résidences locatives, que les bords de mer et écosystèmes associés.

⁷ Un milieu oligotrophe est un milieu où la quantité de nutriments en circulation est faible.

Dans tous les cas cités ci-dessus, où la séparation à la source répond à un enjeu direct et important de pollution du milieu aquatique, un travail de sensibilisation des usagers s'impose également particulièrement, ces derniers n'étant pas en général informés à propos ni de la fragilité des milieux, ni des systèmes d'assainissement actuellement à l'œuvre ni de leurs limites.

› **Les bassins nouvellement ou probablement bientôt classés « sensibles à l'eutrophisation ».**

Pour répondre aux enjeux de qualité des eaux de surface, vis-à-vis des paramètres azote et phosphore notamment, nombreuses sont les collectivités qui doivent actuellement ou devront bientôt revoir leur système de traitement, qui présente souvent des non-conformités avant même que l'investissement ait pu être amorti. Cette situation ouvre une opportunité pour la séparation à la source, dont l'implémentation nécessite d'être anticipée.

2. Sites où la mise en œuvre d'un projet pilote présente moins d'obstacles

L'habitat rural, mais aussi l'habitat pavillonnaire péri-urbain, présentent des configurations intéressantes. D'une part, le raccordement à un système d'assainissement centralisé s'y révèle plus coûteux, ramené au nombre d'habitants, en investissement comme en fonctionnement, en ressources financières comme en ressources matérielles et en impact environnemental des infrastructures. D'autre part, la mise en œuvre de dispositifs décentralisés, comme la valorisation des ressources collectées par la séparation à la source, est facilitée par l'espace disponible.

Par ailleurs, il est plus simple d'installer des dispositifs de séparation à la source dans le cadre de constructions neuves. Ainsi, les projets d'aménagement de nouveaux quartiers, qu'il s'agisse d'activités tertiaires ou de logements, peuvent être ciblés en priorité. Quand ces projets sont construits dans un contexte où le raccordement à l'assainissement collectif aurait été possible, le choix d'une gestion décentralisée des effluents permet d'éviter d'apporter une charge supplémentaire à la STEU pouvant conduire à terme à une nécessité d'agrandissement. Pour autant, les projets de rénovation d'ampleur importante à l'échelle d'un quartier peuvent aussi représenter une opportunité pour passer le cap.

Concernant l'habitat collectif en France, la séparation à la source a été à ce jour surtout mise en œuvre dans les projets où les habitants sont eux-mêmes à l'initiative de la construction (habitat participatif, autopromotion) ou impliqués dans une démarche de concertation en amont. On assiste actuellement à une appropriation croissante à l'échelle des collectivités territoriales.

3. Sites producteurs de grands volumes d'effluents

Le contexte évènementiel (festival) fait figure de pionnier dans la mise en œuvre de techniques de séparation à la source (collecte et valorisation des urines et matières fécales). Ces lieux où se concentre transitoirement un public en l'absence de système d'assainissement dimensionné, nécessitent la mise en œuvre de dispositifs d'assainissement mobiles et pourtant capables de gérer de grands volumes d'effluents.

Dans leur sillage, les lieux où se concentrent un grand nombre de personnes de façon répétée dans le temps doivent eux aussi être ciblés par la séparation à la source du fait des grands volumes d'effluents qu'ils génèrent, représentant un véritable gisement de ressources. Il s'agit d'une part des infrastructures liées au transport (gares, aéroports, etc.), et d'autre part des infrastructures culturelles de grande taille (stades, palais des congrès, etc.⁸).

4. Sites présentant des avantages en termes de démonstration et de sensibilisation

Certains sites présentent l'avantage de toucher un public large et de pouvoir faire l'objet d'actions pédagogiques. Cela concerne au premier chef les établissements d'enseignement et d'accueil des jeunes : écoles, centres de loisirs et de vacances. Par ailleurs, les établissements publics méritent d'être ciblés dans une logique d'exemplarité. Enfin, tout établissement recevant du public entre également dans ce cas de figure (salle de concert, bibliothèque, musée, etc.).

⁸ Citons également les paquebots de tourisme qui en plus de concentrer un public important, rejettent souvent des effluents non traités près des côtes, générant un impact non négligeable sur l'environnement marin et des nuisances pour les populations côtières.



ANNEXES

Exemples de projets dotés de systèmes de séparation à la source

Exemples de projets dotés de systèmes de séparation à la source

Ci-après sont présentés quelques exemples dotés de systèmes de séparation à la source, issus de différents contextes européens développés des années 1990 à aujourd'hui. Ces exemples, qui concernent des bâtiments de logement collectifs et des établissements recevant du public, sont présentés ici en fonction du type de séparation à la source mis en œuvre (cf. figure 2).

SÉPARATION DES EXCRÉMENTS ET EAUX MÉNAGÈRES

Jenfelder Au, Hambourg, Allemagne, 2017⁹

L'entreprise publique Hamburg Wasser (responsable de l'eau potable et de l'assainissement de l'agglomération) a mis en œuvre à Jenfelder Au le concept de quartier *Hamburg Water Cycle*[®]. Le quartier vise à accueillir 2 000 habitants, avec 835 logements, sur 35 ha. C'est le plus grand projet de séparation à la source d'Europe. Les eaux ménagères sont collectées par un réseau gravitaire et pompées vers une station décentralisée où elles sont traitées par lit bactérien puis rejetées vers le plan d'eau où sont aussi collectées les eaux pluviales. L'eau ainsi collectée est utilisée pour l'arrosage en plus d'assurer des fonctions paysagères. Les eaux vannes sont pompées sous-vide vers une station de traitement implantée dans une zone d'activité. Elles y sont traitées par méthanisation. Le biogaz généré alimente une unité de cogénération, pour la production de chaleur et électricité.

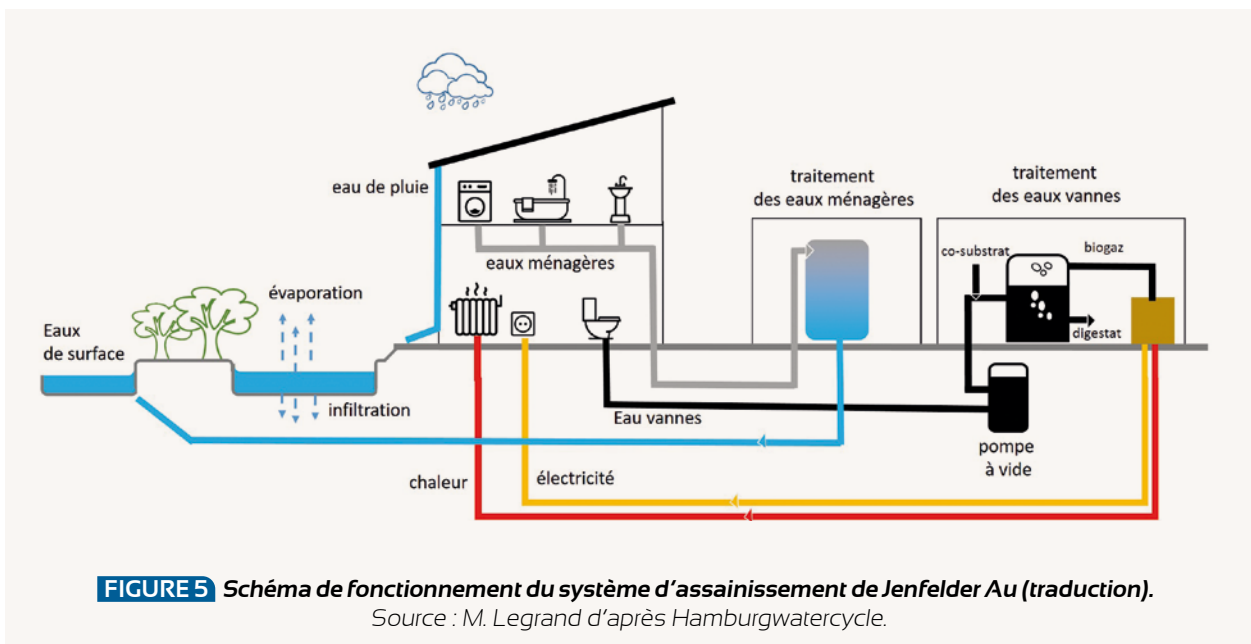


FIGURE 5 Schéma de fonctionnement du système d'assainissement de Jenfelder Au (traduction).

Source : M. Legrand d'après Hamburgwatercycle.

⁹ Les dates mentionnées correspondent à l'année de mise en service du système de séparation à la source, quand disponible.

Ecole primaire de Saint-Germé (Gers), France, 2012

Première école publique intégralement équipée de toilettes sèches et urinoirs secs en France, l'école de Saint-Germé (communauté de communes d'Armagnac-Adour) accueille 60 enfants et 10 adultes. Les urines et matières fécales sont collectées via 7 toilettes sèches à séparation gravitaire et 5 urinoirs secs. Elles sont dirigées vers une salle de compostage sous les sanitaires qui comprend 4 composteurs. Les lixiviats, ainsi que les eaux ménagères, sont dirigés vers un assainissement par filtre planté. La vidange des composteurs est prévue pour être effectuée tous les 7 ans (soit tous les 400 000 passages).



FIGURE 6 Urinoirs secs de l'école primaire.

Source : Mairie de Saint-Germé.

Refuge d'Ayous, Laruns (Pyrénées Atlantiques), France, 2020

Ouvert toute l'année, et situé à près de 2000 m d'altitude, ce refuge d'Ayous, situé dans le Parc National des Pyrénées a une capacité d'accueil de 47 places en saison. Il est équipé de 4 toilettes sèches au rez-de-chaussée accessibles depuis l'intérieur du bâtiment, et 1 depuis l'extérieur en toute saison. Ces toilettes sèches unitaires gravitaires sont reliées à trois composteurs à l'étage inférieur (cuve maçonnée en contact avec le sol). La vidange des composteurs est prévue pour être effectuée tous les 600 000 passages. Les eaux ménagères sont traitées par un système associant filtres plantés et filtres à broyat de bois (8 tranchées fonctionnant en alternance deux par deux).



FIGURE 7 Bloc sanitaire du refuge d'Ayous.

Source : Ecocentre Pierre et Terre.

Centre de loisirs Félix Eboué de Rosny-sous-Bois (Seine-Saint-Denis), France, 2020

Ce centre de loisirs (maternelle et élémentaire, capacité d'accueil de 180 enfants) a été construit en suivant des principes de faible impact environnemental et sobriété énergétique. L'équipement du bâtiment en toilettes sèches s'intègre dans un projet global : construction bois-paille, récupération de l'eau de pluie, matériaux bio-sourcés, etc. Le bâtiment comprend, au rez-de-chaussée, 11 toilettes sèches unitaires reliées à un composteur au sous-sol. S'y ajoutent 6 toilettes à eau au premier étage. Le compostage des matières s'effectue en sous-sol. Les lixiviats sont dirigés vers l'égout, de même que les eaux ménagères. La valorisation du compost est prévue sur les espaces verts de l'établissement.



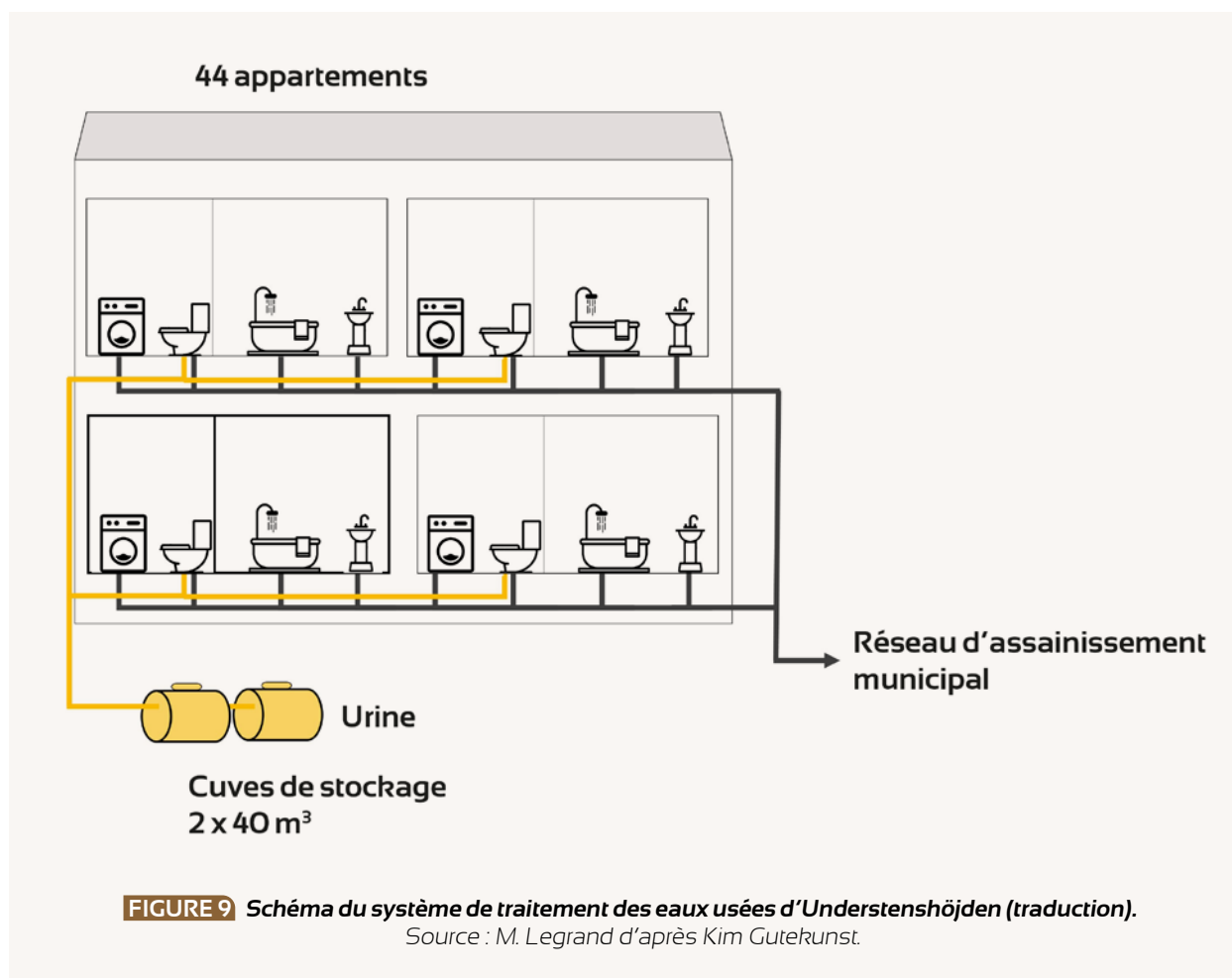
FIGURE 8 Vue d'ensemble (a) et toilettes sèches (b) du centre de loisir F. Eboué.
Source : Juan Sepulveda LT.



COLLECTE SÉPARÉE DES URINES

Understenshøjden, Stockholm, Suède, 1995

Cet éco-village est un des pionniers suédois de la collecte sélective des urines. Situé dans la ville même de Stockholm, sa construction s'est achevée en 1995. Il comprend 44 logements et 160 résidents rassemblés au sein d'une association de propriétaires et locataires. Les choix techniques ont été faits par les résidents eux-mêmes. Chaque maison dispose d'une ou deux toilettes à séparation raccordées à un réseau commun de collecte des urines qui sont drainées vers un lieu de stockage aval constitué de 2 citernes de 40 m³ chacune. La gestion du système est hydraulique : quand la première cuve est remplie, l'urine se déverse dans la suivante. La collecte annuelle des urines est effectuée par un agriculteur pour fertiliser des cultures céréalières. Le reste des effluents (eaux brunes, eaux ménagères) est aujourd'hui raccordé au réseau municipal.



Ecovillage Munksøgård, Roskilde, Danemark, 2000

Il s'agit d'un projet communautaire autogéré de lotissement écologique construit en 2000. Il compte 100 maisons réparties en 5 groupes avec environ 225 habitants. Les maisons sont équipées avec une ou deux toilettes à séparation. Les urines sont collectées par îlot vers 4 réservoirs (volume annuel collecté 150 m³). L'urine est vidangée deux fois par an et exportée pour usage agricole. Elle est également utilisée sur place en jardin potager. Le traitement des eaux ménagères et eaux brunes est effectuée à l'aide d'une fosse septique associée à un filtre à sable.



FIGURE 10 Vue d'ensemble des bâtiments d'habitation de l'écovillage.

Source : Arne Backlund.

COLLECTE SÉPARÉE DES MATIÈRES FÉCALES

Habitat participatif Au clair du quartier, Grenoble, France, 2017

Dans cet immeuble en habitat participatif en centre-ville, les 5 logements sont équipés de toilettes sèches séparatives. Les urines et eaux ménagères sont évacuées au tout à l'égout. Les matières fécales sont transportées par les habitants depuis les logements jusqu'au lieu de compostage dans le jardin commun. L'immeuble comprend également un studio partagé/chambre d'amis avec sa SDB attenante équipée d'un WC à chasse d'eau.



FIGURE 11 (a) Immeuble d'habitat participatif Au Clair du Quartier à Grenoble, équipé de toilettes sèches séparatives. (b) Toilettes sèches séparatives installées dans chaque logement. Source : B. de Gouvello.

Habitat participatif Ecoravie, Dieulefit, France, 2017

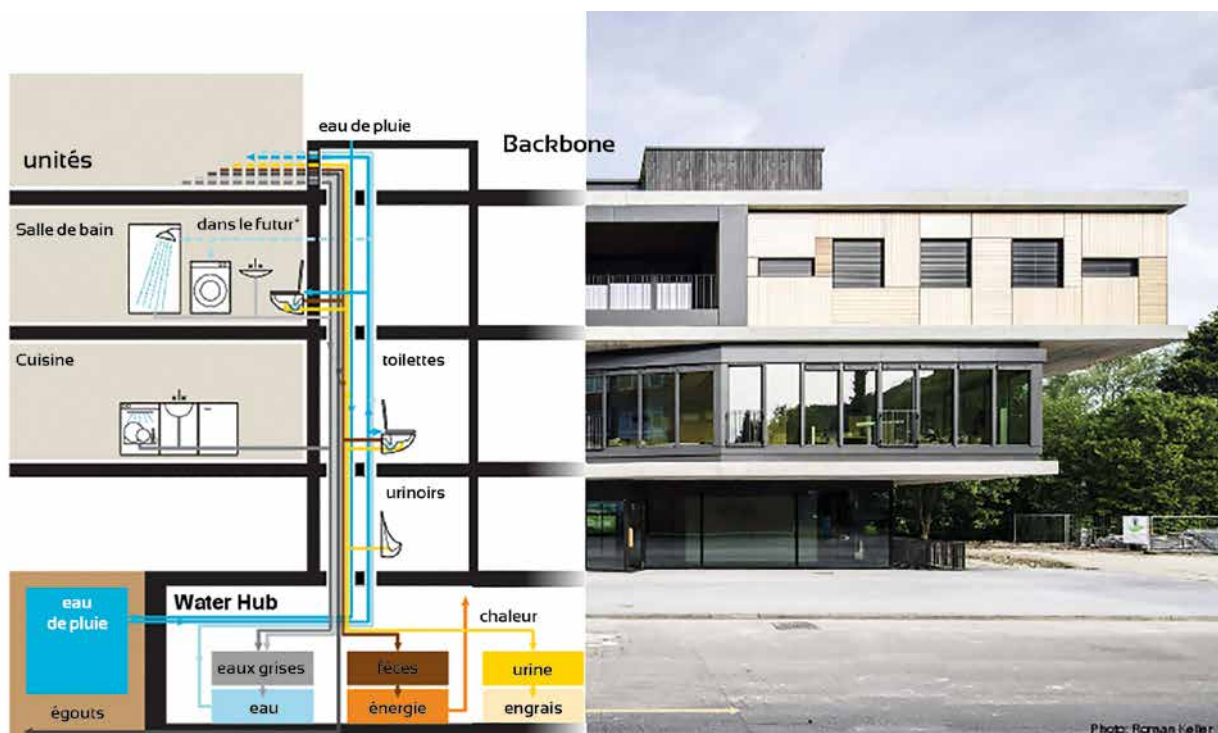
Ecoravie est un projet d'habitat participatif habité depuis 2017, il compte 19 logements dont 11 pour les seniors répartis sur trois bâtiments. Les bâtiments sont équipés de toilettes sèches séparatives. Les urines sont évacuées au tout-à-l'égout avec les eaux ménagères, après le rejet par la commune d'un projet de filtre planté de roseaux. S'y ajoutent 2 toilettes sèches unitaires en extérieur pour les ateliers et chantiers participatifs. Le compostage des matières fécales (auxquelles s'ajoute l'urine pour les toilettes sèches unitaires extérieures) se fait sur place dans un composteur collectif. La parcelle comprend des espaces cultivés (1 ha), où le compost est valorisé au bout de 2 ans.

SÉPARATION DES TROIS FLUX (URINES, FÈCES, EAUX MÉNAGÈRES)

Projet « Water Hub », immeuble NEST, Suisse, 2016

Le Water Hub fait partie de la construction modulaire de recherche et d'innovation NEST (Next Evolution in Sustainable Building Technology) de l'Empa et de l'Eawag. Le bâtiment se compose d'appartements, de bureaux, de salles de réunion et d'un centre de remise en forme et de bien-être. Cette structure réaliste permet de tester des technologies nouvelles en conditions réelles. Les chercheurs de l'EAWAG utilisent le bâtiment pour tester des techniques de traitement durable et décentralisé des effluents. La séparation à la source des différents flux dans le bâtiment permet de valoriser nutriments, eau et énergie. Les urines sont collectées via urinoirs secs et toilettes séparatives, les eaux brunes sont également collectées séparément ainsi que les eaux ménagères. En termes de valorisation, les 3 systèmes testés sont :

- › Urine : traitement par nitrification/distillation, production de l'engrais « Aurin » (système VUNA).
- › Fèces : déshydratation et pressage des boues fécales pour produire de l'énergie.
- › Eaux ménagères : purification biologique dans un bioréacteur à membrane puis élimination par filtration (filtre à charbon actif biologique) des substances organiques restantes. Le potentiel de récupération de l'énergie et de la chaleur des eaux ménagères est modélisé et estimé.



(*Les eaux ménagères traitées ne seront réutilisées qu'après des essais prolongés, afin de garantir une qualité adéquate).

FIGURE 12 Système de traitement Water Hub. Source : Water hub, EAWAG.

Coopérative d'habitat, les Vergers, Meyrin, Suisse, 2012

Ce projet d'habitat participatif a été initié par la coopérative Equilibre au sein de l'Eco-quartier les Vergers. Au sein d'une résidence de 65 logements en immeubles de 7 étages, quatre logements « pilotes » sont équipés de toilettes sèches séparatives. Les matières fécales sont traitées par lombricompostage via un système compact de toilettes sèches avec « carrousel » situé sous la cuvette. D'autres foyers sont équipés de toilettes séparatives où les urines sont collectées et traitées ensemble par nitrification et filtre à charbon actif puis stockées pour utilisation comme engrais. Les eaux ménagères sont envoyées vers le réseau d'assainissement.



FIGURE 13 Immeuble de l'Eco-Quartier des Vergers (a) et toilettes sèches à carrousel (b).

Source : coopérative Equilibre.



Habitat participatif L'Ôôberge, Dol-de-Bretagne, France, 2021

Le projet d'habitat participatif « L'Ôôberge » concerne la construction de trois petits bâtiments collectifs (24 logements) équipés en toilettes sèches séparatives. Un bailleur social (Emeraude Habitation) est maître d'ouvrage de ce projet initié par une partie de ses futurs habitants, situé à Dol-de-Bretagne. Un ancien restaurant routier sera réhabilité – par les habitants – en espaces de convivialité, pouvant accueillir du public.

A partir d'un dispositif de toilettes sèches à séparation gravitaire, l'urine est collectée dans une cuve enterrée et traitée par stockage. Il est prévu qu'elle soit valorisée sur des espaces agricoles du pays de Dol-de-Bretagne. Les fèces sont collectées dans un caisson ventilé à l'arrière de chaque toilette et collectées tous les six mois par un maître composteur, pour transport vers une plateforme de compostage. Les eaux ménagères sont évacuées – classiquement – vers le tout-à-l'égout.



FIGURE 14 Représentation d'ensemble du projet d'habitat l'Ôôberge. Source : cabinet RHIZOME.

SOURCES CITÉES

- › ANSES, 2015. *Analyse des risques sanitaires liés à la réutilisation d'eaux grises pour des usages domestiques*. Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, 124 p.
- › Besson, M., Berger, S., Tiruta-barna, L., Paul, E., Spérandio, M., 2021. Environmental assessment of urine, black and grey water separation for resource recovery in a new district compared to centralized wastewater resources recovery plant. *Journal of Cleaner Production*, 301, 126868.
- › Billen, G., Aguilera, E., Einarsson, R., Garnier, J., Gingrich, S., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Le Noë, J., Sanz-Cobena, A., 2021. Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: the potential of combining dietary change, agroecology and circularity. *One Earth*. 4(6), 839-850. doi: 10.1016/j.oneear.2021.05.008.
- › Bisinella de Faria, A.B., Spérandio, M., Ahmadi, A., Tiruta-Barna, L., 2015. Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA). *Water Research*, 84, 99-111.
- › Brun, Florent, 2019. Note pour concevoir et exploiter les réseaux de collecte de l'urine humaine. Rapport de recherche - programme OCAPI, 28 p.
- › Brun, Florent, Dubois, V., Boutin, C., 2021. L'emploi du broyat de bois, une solution durable pour traiter les eaux ménagères ? *Techniques Sciences Méthodes*, 21(3), 12-16.
- › Brun, Florence, 2021. *Exploration de nouveaux paradigmes de l'économie de l'eau, de l'alimentation et de la biodiversité. Etude de la réforme de deux redevances des Agences de l'Eau*. Mémoire de thèse professionnelle pour le Mastère spécialisé PAPDD. Ecole des Ponts ParisTech.
- › Crolais, A., Lebihain, M., Le Gal, A., Maysonnave, E., 2016. *L'or liquide, l'innovation sociotechnique en assainissement par la mise en synergie d'acteurs locaux : le cas de la collecte sélective des urines sur le plateau de Saclay*. Rapport de Groupe d'Analyse de l'Action Publique. Mastère Politique et Action Publique pour le Développement Durable. Ecole des Ponts ParisTech.
- › DWA, 2010. *Do we need New Alternative Sanitation Systems in Germany ?*, 16 p.
- › Esculier, F., Le Noë, J., Barles, S., Billen, G., Créno, B., Garnier, J., Lesavre, J., Petit L. et Tabuchi, J.-P., 2018. The biogeochemical imprint of human metabolism in Paris Megacity: a regionalized analysis of a water-agro-food system. *Journal of Hydrology*, 573, 1028-1045.
- › Friedler, E., Butler, D., Alfiya Y., 2013. Wastewater composition. In: Larsen, T.A., Lienert, J., Udert, K.M. (eds.). *Source separation and decentralization for wastewater management*. IWA Publishing, 241-257.
- › Lazarova, V., Hills, S., Birks, R., 2003. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 69-77.
- › Legrand M., Joveniaux A., Arbarotti A., de Gouvello, B., Esculier F., Tabuchi J.-P., 2021. Séparation à la source et valorisation des excréments humains du grand Paris : des filières émergentes. *Techniques Sciences Méthodes*, 9, 103-118.
- › Le Noë, J., Roux, N., Billen, G., Gingrich, S., Erb, K., Krausmann, F. et al., 2020. The phosphorus legacy offers opportunities for agro-ecological transition (France 1850 2075). *Environmental Research Letters*, 15(6), 064022.

- › Martin, T., 2020. *L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable*. Thèse de doctorat, AgroParisTech. 252 p.
- › Martin, T. M., Esculier, F., Levavasseur, F., Houot, S., 2020. Human urine-based fertilizers: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. DOI: 10.1080/10643389.2020.1838214.
- › Million, A., Bürgow, G., Steglich, A. (Eds.), 2018. *Roof water-farm: Urbanes Wasser für urbane Landwirtschaft*. Universitätsverlag der TU Berlin. 323 p.
- › Organisation Mondiale de la Santé, 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*.
- › Wilsenach, J., van Loosdrecht, M., 2006. Integration of Processes to Treat Wastewater and Source-Separated Urine. *Journal Of Environmental Engineering*, 132(3), 331-341.

Autres sources bibliographiques

- › Besson, M., 2017. *La séparation à la source des effluents urbains. Intérêts et mise en pratique en Europe*. Programme MUSES. INSA Toulouse.
- › Coalition clean baltic, 2009. *The Swedish Eco-Sanitation Experience - Case studies of successful projects implementing alternative techniques for wastewater treatment in Sweden*.
- › De Looze, R., 2018. *L'urine, de l'or liquide au jardin. Guide pratique pour produire ses fruits et légumes en utilisant les urines et composts locaux*. Terran.
- › Esculier, F., 2018. *Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques*. Thèse de doctorat en sciences et techniques de l'environnement. Université Paris-Est.
- › Igos, E., Besson, M., Navarrete Gutiérrez, T., Bisinella de Faria, A. B., Benetto, E., Barna, L., Ahmadi, A., Spérandio, M., 2017. Assessment of environmental impacts and operational costs of the implementation of an innovative source-separated urine treatment. *Water Research*, 126, 50-59.
- › Johansson, M., 2000. *Urine Separation - Closing the Nutrient Cycle*. Water Company, Stockholm, Sweden.
- › Larsen, T. A., Udert, K. M., Lienert, J. (eds.), 2013. *Source separation and decentralization for wastewater management*. Iwa Publishing.
- › Tidåker, P., Mattsson, B., Jönsson, H., 2007. Environmental impact of wheat production using human urine and mineral fertilisers - a scenario study. *Journal of Cleaner Production*, 15, 52-62.


Documentation complémentaire

- › Programme OCAP (www.leesu.fr/ocapi)
- › Sustainable Sanitation Alliance (www.susana.org/library)
- › Réseau de l'Assainissement Ecologique (<https://reseau-assainissement-ecologique.org>)

GLOSSAIRE

- › **Assainissement** : L'assainissement renvoie à l'action de maintenir les lieux habités dans un bon état sanitaire : il comprend la maîtrise des sources possibles de maladies, telles que les excréments humains.
 - › **Eau de pluie** : L'eau de pluie désigne l'eau collectée pour être utilisée : il s'agit alors essentiellement d'eaux issues de toitures (on distingue ainsi eau de pluie et eaux pluviales).
 - › **Eaux brunes** : Les eaux brunes correspondent au mélange des matières fécales et de l'eau de chasse, et éventuellement du papier toilette, lorsque les urines sont collectées à part.
 - › **Eaux grises** : Synonyme de eaux ménagères.
 - › **Eaux ménagères** : Les eaux ménagères correspondent à l'ensemble des effluents domestiques autres que les effluents provenant des toilettes, soit principalement les eaux issues des douches, baignoires, lavabos, lave-linge, éviers, lave-vaisselle et lavage des sols.
 - › **Eaux noires** : Synonyme de eaux vannes.
 - › **Eaux pluviales** : La gestion des eaux pluviales en ville concerne les eaux de ruissellement, dont il convient de gérer les risques qu'elles induisent, en termes quantitatifs (risque d'inondation) et qualitatifs (risque de pollution).
 - › **Eaux vannes** : Les eaux vannes correspondent aux effluents provenant des toilettes, elles sont principalement composées des eaux de chasse, excréments et papier toilette.
 - › **Effluents urbains** : La gestion des effluents urbains correspond à la prise en charge collective des effluents tels que les excréments humains, les eaux ménagères et les eaux pluviales. Cette notion intègre l'assainissement de l'environnement urbain vis-à-vis des effluents urbains, ainsi que d'autres fonctions telles que la valorisation des ressources contenues dans ces effluents.
 - › **Excréments** : Les excréments humains désignent les matières rejetées par l'organisme, à savoir principalement les urines et les matières fécales. Le terme « excréments » est évité car il peut être équivoque (il désigne soit les matières fécales seules, soit les urines et les matières fécales).
 - › **Matières fécales** : Excréments du tube digestif expulsés par l'anus lors de la défécation. Matière fécale est un terme qui permet d'éviter les ambiguïtés, en particulier à l'oral. On emploie aussi fèces ou selles.
 - › **Séparation à la source** : La séparation à la source correspond au principe de séparation des flux, depuis la production de l'effluent, la collecte et le transport, jusqu'au traitement et à l'utilisation des ressources qu'ils contiennent.
 - › **Urino-fertilisant** : Matière fertilisante spécifique obtenue après traitement de l'urine humaine et permettant d'en valoriser les nutriments.
-

Editions ARCEAU-IdF 2021
ISBN : 978-2-490463-10-7

Création graphique :  idbleue - Sablé

Crédits photos : p.11 Louise Raguet - p.12 Tristan Martin - p.14 Ecocentre Pierre et Terre, Anaïs Chesneau - p.15 Fabien Esculier -
p.21 Mairie de Saint-Germé, Ecocentre Pierre et Terre - p.22 Juan Sepulveda LT - p.24 Arne Backlund - p.25 B. de Gouvello -
p.26 Water hub, EAWAG - p. 27 coopérative Equilibre.

Ce document est une adaptation et une actualisation
du document *Do we need New Alternative Sanitation
Systems in Germany?* (DWA, 2010).

Il a été réalisé dans le cadre du groupe de travail
thématique de l'association ARCEAU-IdF nommé
« Séparation à la source ».



ISBN 978-2-490463-10-7

