



Eaux noires

On appelle «eaux noires» ou «eaux vannes» les eaux usées qui proviennent des toilettes et qui contiennent les excréments (matières fécales et urine), l'eau de la chasse d'eau et le matériel de nettoyage anal (papier toilette ou autre). Si elles ne sont pas traitées correctement, les eaux noires sont un risque pour l'environnement et la santé. D'autre part, elles contiennent des ressources qu'il est intéressant de récupérer telles que des nutriments, de l'énergie et de l'eau. Pour la gestion des eaux noires et la récupération des ressources, plusieurs options sont envisageables à différentes échelles avec des infrastructures adaptées au contexte local. Ainsi, les solutions hors réseau (off-grid) impliquent un traitement à la source, les solutions décentralisées et semi-centralisées un stockage et conditionnement sur place suivis d'un transport vers un centre de traitement, et les solutions centralisées un transport centralisé par un collecteur vers le centre de traitement.

L'Eawag étudie les approches hors réseau, centralisées ou décentralisées de traitement et de recyclage des flux d'eaux usées dans le but de trouver des solutions pertinentes plus durables au niveau mondial. À l'avenir, les approches d'assainissement inclusif urbain (city-wide inclusive sanitation – CWIS) basées sur la récupération des ressources comprendront un mélange de ces différentes solutions.

Le coût élevé des solutions centralisées

Les solutions centralisées, qui sont les plus courantes dans les pays à haut revenu, sont bien établies en raison de leur efficacité en matière de salubrité publique. Elles ont cependant l'inconvénient d'être chères, de nécessiter d'impor-

tantes quantités de ressources et d'énergie et de dépendre de la construction d'infrastructures adaptées. Elles requièrent également de larges volumes d'eau et d'énergie pour le transport et le traitement des eaux usées. En effet, l'eau est souvent employée pour transporter efficacement les excréments vers leur lieu de traitement. Cependant, cette pratique pose problème puisqu'elle entraîne la contamination de quantités considérables d'eau potable. Les solutions hors réseau et décentralisées permettent de réduire les volumes d'eau à traiter car elles n'impliquent pas le mélange des excréments avec les eaux grises (voir la [fiche sur les eaux grises \[1\]](#)) et les eaux pluviales. D'autre part, la collecte séparée des eaux grises et des eaux de pluie permet leur réutilisation pour les chasses d'eau ou pour d'autres

usages ne nécessitant pas d'eau potable. Par conséquent, les besoins en eau potable sont réduits, ce qui limite la consommation d'énergie et de ressources. Étant donné que les systèmes centralisés atteignent maintenant leurs limites en termes de capacité suite à la croissance de la population urbaine, les solutions hors réseau et décentralisées pourraient être mises à profit pour combler l'écart entre l'offre et la demande, et augmenter les capacités de traitement de manière durable.

Des eaux noires souvent déversées sans traitement

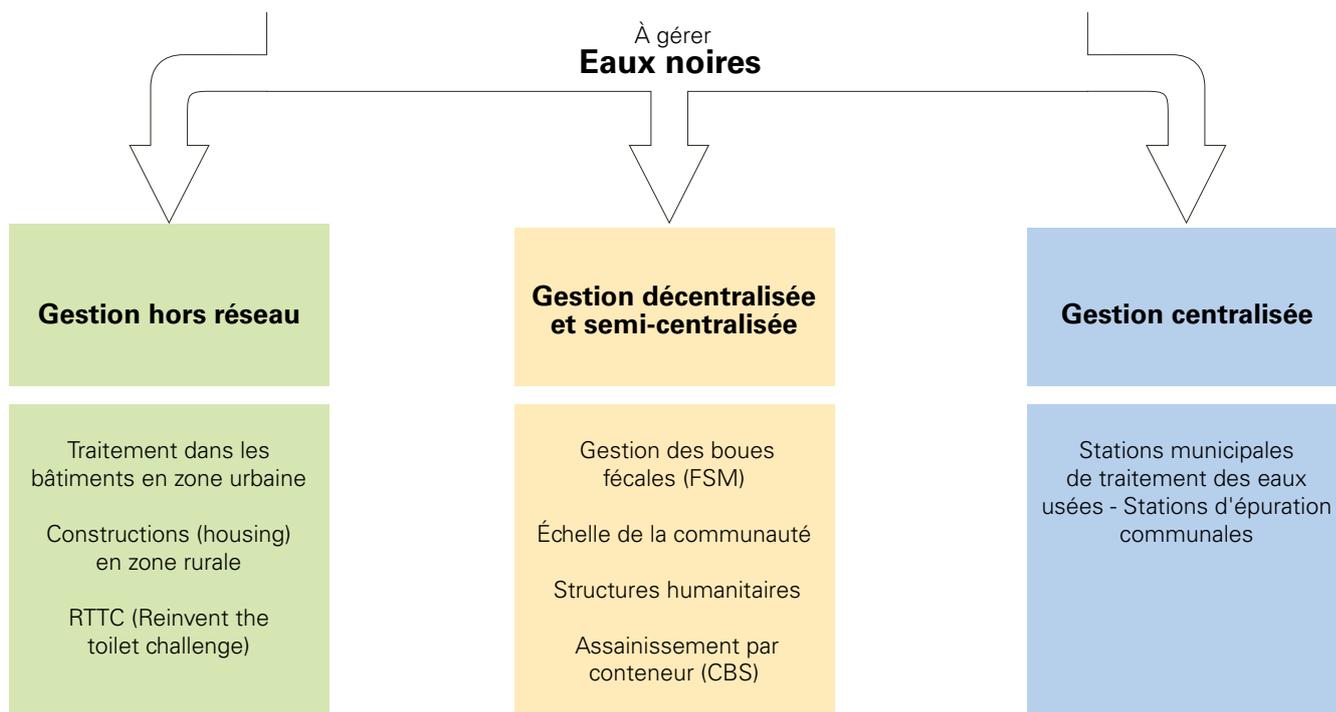
Dans beaucoup de pays à revenu faible et intermédiaire, les systèmes décentralisés et semi-centralisés, tels que les latrines et les fosses septiques, dominent pour les eaux noires (gestion des boues fécales ou de vidange) [2]. Ces solutions peuvent permettre un assainissement adéquat si elles s'inscrivent dans une chaîne de traitement complète et opérationnelle. Dans la réalité, la grande majorité des eaux noires se retrouve sans traitement dans l'environnement urbain. Les solutions hors réseau et décentralisées pourraient aider à résoudre ce problème en éliminant les besoins de transport et en offrant des technologies efficaces à faible empreinte écologique pour les zones urbaines de forte densité.

Une situation compliquée en raison d'une forte variabilité des eaux noires

La déshydratation est un procédé qui permet de séparer les flux liquides et solides des eaux noires pour que celles-ci puissent être traitées plus efficacement. Avant la récupération des ressources, les deux flux résultants doivent subir un traitement adéquat comprenant des étapes d'inactivation des pathogènes, de stabilisation et de gestion des nutriments. Toutefois, étant donné que chaque passage aux toilettes a ses propres caractéristiques, le volume et la composition des eaux noires sont extrêmement variables. Cela complique les traitements hors réseau et décentralisés par rapport aux solutions centralisées où les eaux noires sont mélangées dans les égouts. De ce fait, les technologies bien établies de traitement des eaux usées ne peuvent pas être directement appliquées au traitement des eaux noires.

Répondre à la demande locale

Les solutions technologiques de récupération des ressources doivent être adaptées au contexte et à la demande locaux. Notre objectif est de développer des solutions plurielles de traitement hors réseau et décentralisé des eaux noires afin de récupérer les ressources et de créer des produits finis qui répondent aux besoins locaux. Ces solutions doivent garantir la santé publique et la protection de l'environnement.



Hors réseau: Les solutions innovantes hors réseau sont conçues pour traiter les eaux noires directement à la source (traitement sur place), éliminer les besoins de transport vers un centre de traitement externe et accroître le potentiel de récupération des ressources.

Systèmes décentralisés ou semi-centralisés: Un tiers de la population mondiale est desservie par des systèmes sans égouts dans lesquels les eaux noires sont entreposées sur place pour être ensuite collectées et acheminées vers des installations de traitement décentralisées ou semi-centralisées. Dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, cette approche est communément appelée «gestion des boues fécales» ou FSM (Faecal sludge management).

Système centralisé: En Suisse, 99 % des eaux noires sont transportées avec les eaux grises par un système d'égouts vers des stations de traitement centralisées et peuvent également être mélangées aux eaux pluviales collectées par le réseau d'assainissement. Dans le monde, 57 % des ménages sont desservis par des systèmes centralisés d'épuration des eaux usées, dont environ les deux tiers sont traitées de manière sûre [3].

Opportunités

Santé publique et protection de l'environnement: Une bonne gestion des eaux noires permet de minimiser les risques pour la santé et de maîtriser la propagation des maladies infectieuses en interrompant les voies de transmission féco-orales. De plus, le déversement sauvage des eaux noires induit une pollution des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines. De ce fait, le traitement des eaux noires est un enjeu important aussi bien en matière d'environnement que de santé publique.

Matière organique et nutriments: Les matières solides récupérées sont riches en matière organique et en phosphore. Elles peuvent être compostées avec d'autres substrats organiques ou comprimées en pastilles d'engrais pour fertiliser les sols. La matière organique accroît la capacité de rétention d'eau et la diversité de la flore microbienne des sols et peut être utilisée en association avec des fertilisants dérivés de la collecte séparée des urines (voir la [fiche sur les urines](#) [4]).

Énergie: Les eaux noires déshydratées peuvent être transformées en pellets, en charbon ou en briquettes pour servir de combustibles alternatifs solides. Ces produits ont un pouvoir calorifique comparable aux dérivés du bois et ont été testés avec succès sur le terrain dans des fours industriels au Sénégal et en Ouganda [5]. Il est également possible d'obtenir une source d'énergie par la production de biogaz. Les excréments d'une seule personne ne suffisent pas à couvrir ses besoins en chaleur et en énergie mais ils peuvent apporter une contribution précieuse pour l'éclairage, le chauffage, la cuisine, ou à plus grande échelle, alimenter le réseau [6]. Par ailleurs, les solutions hors réseau ou décentralisées réduisent les besoins énergétiques en limitant ceux liés au pompage et au traitement centralisé pour la production d'eau potable.

Biomasse: Certaines techniques de traitement peuvent fournir de la nourriture pour l'élevage ou la pisciculture. C'est par exemple le cas des végétaux des filtres plantés ainsi que des larves d'insectes qui sont une excellente source de protéines. Les mouches soldat noires sont par exemple capables de consommer très rapidement les matières solides des eaux noires et de les transformer en biomasse d'insecte.

Eau: Les flux liquides traités peuvent être récupérés et réutilisés pour l'irrigation ou les toilettes. Nous évaluons les possibilités de traitement simultané des eaux grises et des flux liquides résultant de la déshydratation des eaux noires. Indépendamment de cela, le traitement hors réseau ou décentralisé des eaux noires permet de réaliser d'importantes économies d'eau.

Problèmes à résoudre

Déshydratation: Même contenues dans de faibles volumes d'eau, de petites quantités d'excréments peuvent contaminer de grandes quantités d'eau. Ainsi, les matières solides représentent en général moins de 1-5 % du volume des eaux noires. La séparation solide-liquide reste le maillon manquant de beaucoup de technologies hors réseau ou décentralisées de récupération des ressources. Il est donc nécessaire de bien comprendre les mécanismes fondamentaux de la déshydratation des eaux noires pour assurer un traitement adéquat dans une optique de récupération des ressources.

Développement et adoption des techniques de traitement: Bien que l'on dispose d'une vaste connaissance du traitement des eaux usées dans les systèmes centralisés, il est impossible de la transposer directement à d'autres systèmes en raison de la variabilité du volume et des caractéristiques des eaux noires. Nous travaillons aux possibilités de transfert des savoir-faire existants, en matière de déshydratation mécanique par exemple, à un contexte de traitement hors réseau ou décentralisé. Les technologies bien établies pour les systèmes décentralisés ou semi-centralisés dans les pays à revenu faible ou intermédiaire s'appuient sur les lits de séchage, le cocompostage et les décanteurs-épaisseurs. De plus amples recherches sont nécessaires pour développer des solutions à moindre empreinte écologique et optimiser les innovations pour qu'elles puissent être adoptées.

Surveillance en ligne: La déshydratation des eaux noires peut être fortement améliorée si le dosage des additifs (les flocculants pour la déshydratation par voie chimique, par exemple) est modulé en fonction de leurs caractéristiques réelles. Pour les traitements hors réseau ou décentralisés, cela implique de disposer de méthodes de caractérisation rapide en temps réel. Les récentes recherches de l'Eawag ont montré que le suivi en ligne du pH, de la conductivité électrique, de la texture ou de la couleur présentait un fort potentiel dans ce sens [7]. Nous évaluons actuellement les possibilités d'utilisation de capteurs dans les eaux noires, rendues difficiles par l'encrassement du matériel et la perturbation des mesures due à la composition extrêmement complexe de l'eau.

Acceptation des produits de traitement: L'acceptation des produits de récupération des ressources issus du traitement des eaux noires peut être accrue en sensibilisant les acteurs aux risques réels. Cela peut être atteint par des approches soucieuses de la santé publique basées sur les risques. Par exemple, les traitements de récupération par incinération éliminent le problème des pathogènes. Ou encore, l'utilisation des engrais pour l'arboriculture plutôt que pour les cultures vivrières au sol permet de garantir une distance physique avec les contaminations éventuelles.

Développements technologiques à l'Eawag

Water Hub: L'Eawag collabore avec l'industrie pour tester ses technologies et produits dans le Water Hub. Ces tests, réalisés en conditions réelles, sont une étape importante pour le développement de technologies directement utilisables sur le terrain. Ils portent actuellement par exemple sur la déshydratation mécanique, l'utilisation de capteurs et d'additifs (floculants, coagulants, etc.).



Volaser: Le Volaser est un outil de mesure au laser qui permet de mesurer in situ les volumes d'eaux noires (boues fécales) et les volumes de stockage sur place. Il peut servir à prédire les quantités d'eaux noires décentralisées devant être gérées à l'échelle de la communauté ou de la municipalité. Le Volaser et la Sludge Snap App sont actuellement testés sur le terrain dans huit pays différents.



Sludge Snap App: Cette application vise à prédire les caractéristiques des eaux noires à partir de photos prises avec un smartphone. Elle utilise un module de traitement d'image qui extrapole les données de couleur et de texture des eaux noires. La personne qui l'utilise peut, en plus d'une photo, entrer des informations faciles à déterminer comme le pH, la conductivité et le type de contenant. Ces informations sont traitées par un module de machine-learning pour prédire les caractéristiques des eaux noires à partir d'une base de données existante [8].



Dosage automatisé des additifs: Le sous-dosage ou le surdosage des additifs réduisent considérablement les performances de déshydratation. L'Eawag travaille actuellement, en s'appuyant sur ses recherches antérieures, au développement de solutions permettant le dosage automatisé des additifs à partir du suivi en ligne de différents paramètres physicochimiques. Cette démarche implique également l'identification de méthodes adaptées pour la sélection des meilleurs additifs.



Législation et réglementation

Une norme DIN sur les systèmes préfabriqués d'assainissement sans raccordement aux réseaux d'adduction ou d'évacuation des eaux (DIN 30762:2021-06) est en cours de développement [9]. Elle a pour but de décrire les spécifications minimales nécessaires à de tels systèmes en matière de design et d'équipement technique pour qu'un niveau élevé de qualité, de confort et de sécurité soit garanti.

La norme DIN sur l'assurance qualité des produits de recyclage issus des toilettes sèches pour les usages horticoles (DIN SPEC 91421:2020-12) fournit des informations supplémentaires pour l'utilisation des produits dérivés des urines et des fèces en horticulture [10].

En Europe, il n'existe actuellement pas de réglementation spécifique au recyclage des eaux noires. Toutefois, plusieurs réglementations s'appliquent aux eaux usées en général:

CH: Depuis 2006, l'utilisation directe des boues produites par les stations d'épuration communales pour la fertilisation des cultures est interdite. Ces boues d'épuration doivent être séchées et brûlées dans des incinérateurs ou des cimenteries [11]. La Suisse a décidé qu'à partir du 1er janvier 2026, le phosphore contenu dans les eaux usées communales ou dans d'autres effluents riches en phosphore devra être récupéré [12].

DE: Les stations d'épuration sont encouragées à récupérer les nutriments contenus dans les eaux usées. Les boues d'épuration peuvent être incinérées ou utilisées comme fertilisants dans l'agriculture dans le respect des normes en vigueur [13].

UE: Liquides: en 2020, l'Union européenne a émis le règlement «Exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau». Son objectif est de créer un cadre réglementaire pour les États membres qui souhaitent réutiliser l'eau des eaux usées pour l'irrigation [14].

Solides: Le règlement européen établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE [15] ne réglemente pas les fèces humaines.

Sources et références

- 1 Morgenroth, E.; Doll, C.; Hess, A.; Hubaux, N.; Reynaert, E.; Hammes, F.; Julian, T.; Bryner, A.; Penicka, P. (2021) Fact sheet. *Grauwasser*, Eawag, Dübendorf, Switzerland https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Beratung/Beratung_Wissenstransfer/Publ_Praxis/Factsheets/fs_greywater_0221.pdf
- 2 Strande, L., M. Ronteltap, and D. Brdjanovic, *Faecal sludge management: Systems approach for implementation and operation*. (2014), London: IWA Publishing. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:10885>
- 3 UN Habitat and WHO, 2021. *Progress on wastewater treatment – Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.3.1*. United Nations Human <https://www.unwater.org/publications/progress-on-wastewater-treatment-631-2021-update/>
- 4 Udert, K.; Doll, C.; Bryner, A.; Penicka, P.; Etter, B. (2019) Fact sheet. *Urinseparierung*, Eawag, Dübendorf, Switzerland. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/eng/projekte/nest/factsheet_urine_march19_de.pdf
- 5 Gold, Moritz, et al. "Faecal sludge as a solid industrial fuel: a pilot-scale study." *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 7.2 (2017): 243-251. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A15049/>
- 6 Andriessen, N.; Ward, B.J.; Strande, L. "To char or not to char? Review of technologies to produce solid fuels for resource recovery from faecal sludge." *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 9.2 (2019): 210-224. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:18906>
- 7 Ward, B. J.; Andriessen, N.; Tembo, J. M.; Kabika, J.; Grau, M.; Scheidegger, A.; Morgenroth, E.; Strande, L. (2021) *Predictive models using "cheap and easy" field measurements: can they fill a gap in planning, monitoring, and implementing fecal sludge management solutions?*, *Water Research*, 196, 116997 (12 pp.). <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:22336>
- 8 Ward, B. J., Allen, J., Escamilla, A., Sivick, D., Sun, B., Yu, K., Strande, L. (2021). *Sludge snap: a machine learning approach to fecal sludge characterization in the field* (p. 1234 (2 pp.)). Presented at the 42nd WEDC international conference. Equitable and sustainable WASH services: future challenges in a rapidly changing world. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:24096>
- 9 DIN 30762:2021-06, *Prefabricated sanitation systems without connection to water supply and sewage system - Requirements and product features*; Draft (2021). <https://www.beuth.de/en/draft-standard/din-30762/338299741>
- 10 DIN SPEC 91421:2020-12 (2020); *Quality assurance of recycling products from dry toilets for use in horticulture*. <https://www.beuth.de/de/technische-regel/dinspec-91421/330937272>
- 11 Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, (2003) *Verordnung über umweltgefährdende Stoffe* (Stoffverordnung, StoV), <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-1673.html>
- 12 Der Schweizerische Bundesrat, (2015), *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen* Art. 1 and Art. 51, <https://fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2015/891>
- 13 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017) *Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung*, <https://www.bmu.de/gesetz/verordnung-zur-neuordnung-der-klaerschlammverwertung/>
- 14 The European Parliament and the Council of the European Union (2020), *Regulation (EU) 2020/741 of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse*, <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>
- 15 The European Parliament and the Council of the European Union (2019), *Regulation (EU) 2019/1009 of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC)*, <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>

Informations complémentaires: www.eawag.ch/waterhub, www.autarky.ch

Contact: Dr Linda Strande, Département Sandec, +41 58 765 5553, linda.strande@eawag.ch

Ont contribué à cette fiche: Carina Doll (Technologie des procédés); Linda Strande, Michael Vogel, Stanley Sam, Barbara J. Ward (Assainissement, eau et déchets pour le développement); Andri Bryner et Peter Penicka (Communication); Laurence Frauenlob (traduction)

Adresse: Eawag, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, Schweiz, +41 58 765 5511, info@eawag.ch, eawag.ch