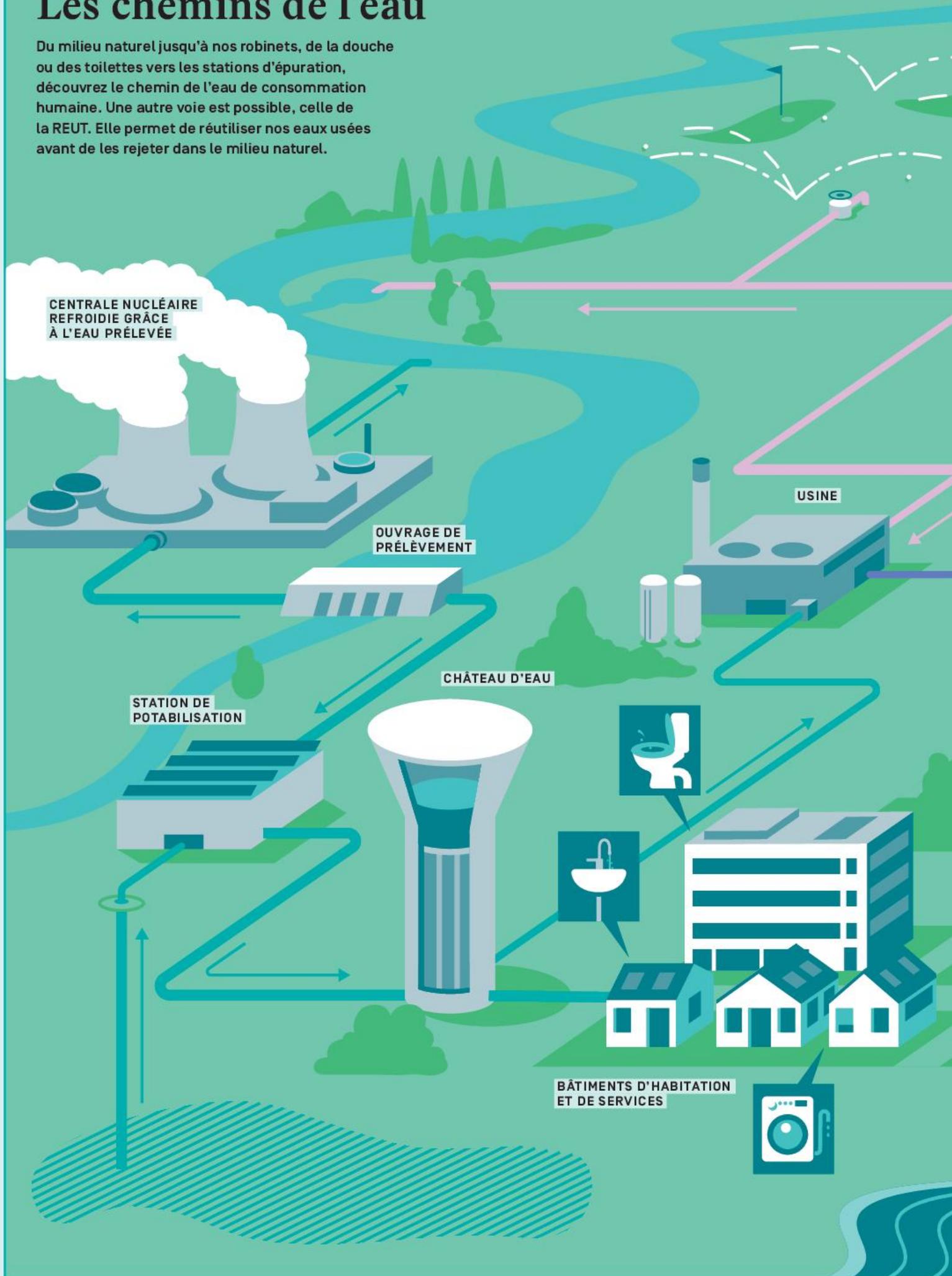


LA DEUXIÈME VIE DE NOS EAUX USÉES

L'eau douce est en quantité limitée sur Terre. C'est un bien précieux qui se raréfie avec le changement climatique. Réduire les prélèvements d'eau en milieu naturel devient donc indispensable, notamment grâce au recyclage des eaux usées. Comment mieux récupérer l'eau déjà utilisée pour s'en servir pour d'autres usages? Est-ce une bonne idée et à quelles conditions? Ce dossier décrypte de nouveaux chemins possibles pour l'eau.

Les chemins de l'eau

Du milieu naturel jusqu'à nos robinets, de la douche ou des toilettes vers les stations d'épuration, découvrez le chemin de l'eau de consommation humaine. Une autre voie est possible, celle de la REUT. Elle permet de réutiliser nos eaux usées avant de les rejeter dans le milieu naturel.



CENTRALE NUCLÉAIRE
REFROIDIE GRÂCE
À L'EAU PRÉLEVÉE

OUVRAGE DE
PRÉLEVEMENT

STATION DE
POTABILISATION

CHÂTEAU D'EAU

USINE

BÂTIMENTS D'HABITATION
ET DE SERVICES

Réseau de prélèvement de l'eau dans le milieu naturel (nappes souterraines, rivières, lacs, etc.). Elle est ensuite acheminée jusqu'aux différents lieux de consommation (industrie, bâtiments, maisons, etc.).

Réseau des eaux usées, qui convergent vers la station de traitement des eaux usées (STEU).

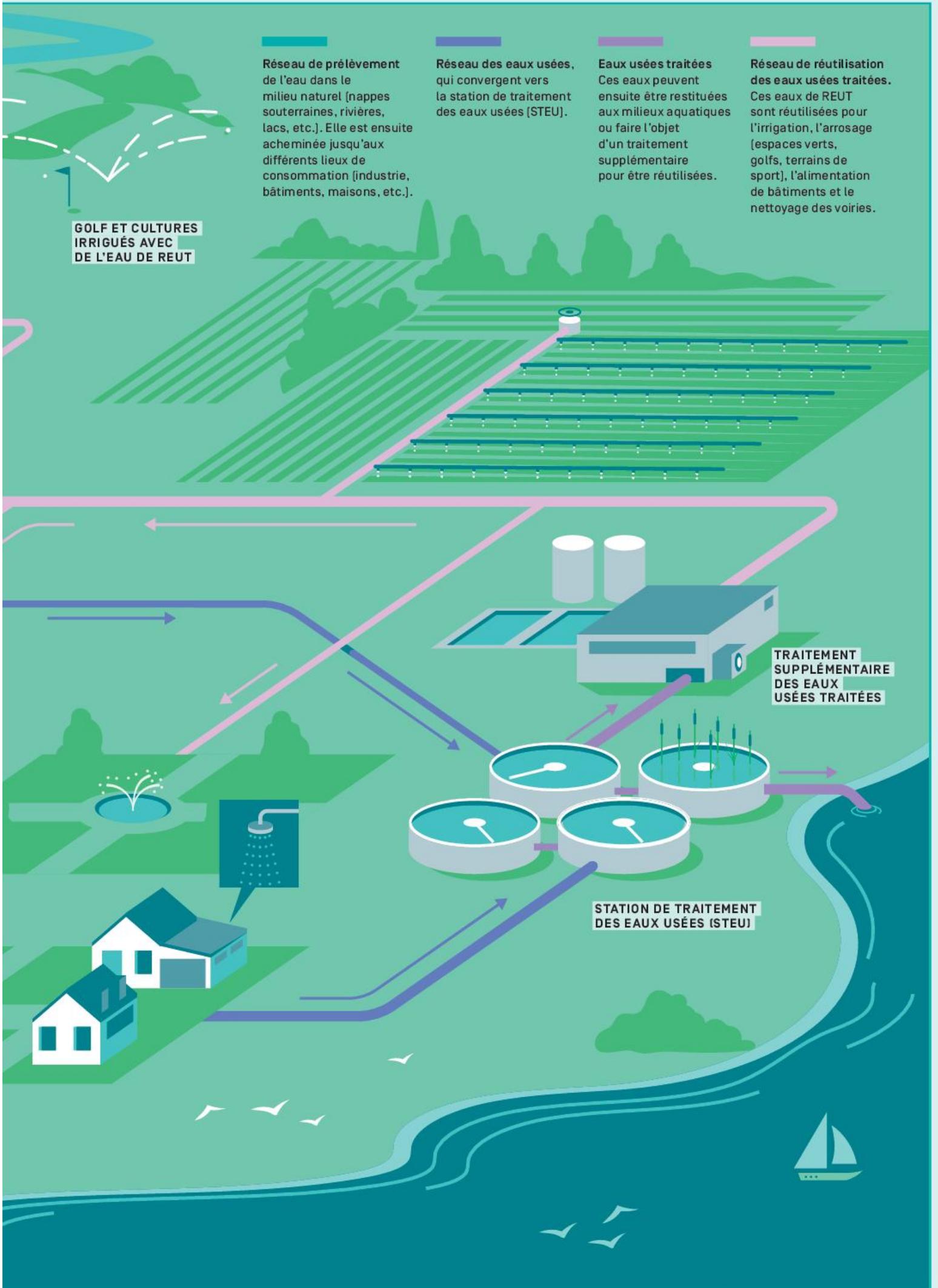
Eaux usées traitées
Ces eaux peuvent ensuite être restituées aux milieux aquatiques ou faire l'objet d'un traitement supplémentaire pour être réutilisées.

Réseau de réutilisation des eaux usées traitées.
Ces eaux de REUT sont réutilisées pour l'irrigation (espaces verts, golfs, terrains de sport), l'alimentation de bâtiments et le nettoyage des voiries.

GOLF ET CULTURES IRRIGUÉS AVEC DE L'EAU DE REUT

TRAITEMENT SUPPLÉMENTAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES

STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES (STEU)



QUE DEVIENNENT NOS EAUX USÉES ?

L'eau que l'on utilise pour nos douches, vaisselles, lessives, toilettes, passe du statut d'eau potable à celui d'eaux usées. Ces eaux usées sont ensuite récupérées et traitées, puis rejetées dans le milieu naturel. Ce chemin de l'eau, soustrait à notre regard et peu connu, pose de nombreuses questions : qualité de l'eau, pollution, recyclage... **Explications.**

En France, pour nos besoins quotidiens (boisson, vaisselle, lessive, ménage, douche, WC), nous consommons en moyenne 60 à 100 litres d'eau potable par personne et par jour (sans compter les fuites sur le réseau d'eau potable)¹. D'où provient cette eau ? Est-ce une ressource illimitée comme nous pouvons le croire lorsque nos robinets coulent à volonté ? Et que deviennent nos eaux usées ? Le trajet de l'eau apparaît comme un cycle fermé : le volume d'eau sur Terre est limité et constant, sans apports ni pertes d'eau à l'extérieur de la planète. L'eau ne fait que se déplacer entre l'air, le sol et les océans, sous différentes formes. Chacun de nos prélèvements et de nos rejets, dans les nappes souterraines ou les eaux de surface, a des conséquences sur les autres compartiments du cycle de l'eau.

Quel circuit de l'eau pour quels usages ?

Notre eau potable doit provenir du milieu naturel, c'est la réglementation. En pratique, elle est puisée majoritairement dans les nappes souterraines (60 %) et dans les eaux de surface comme les lacs et les cours d'eau (40 %). Après différents traitements pour la rendre potable, l'eau est stockée



LES DIFFÉRENTS TYPES D'EAU

Eau bleue
Eau des lacs,
rivières et nappes
phréatiques

Eau jaune
Urines

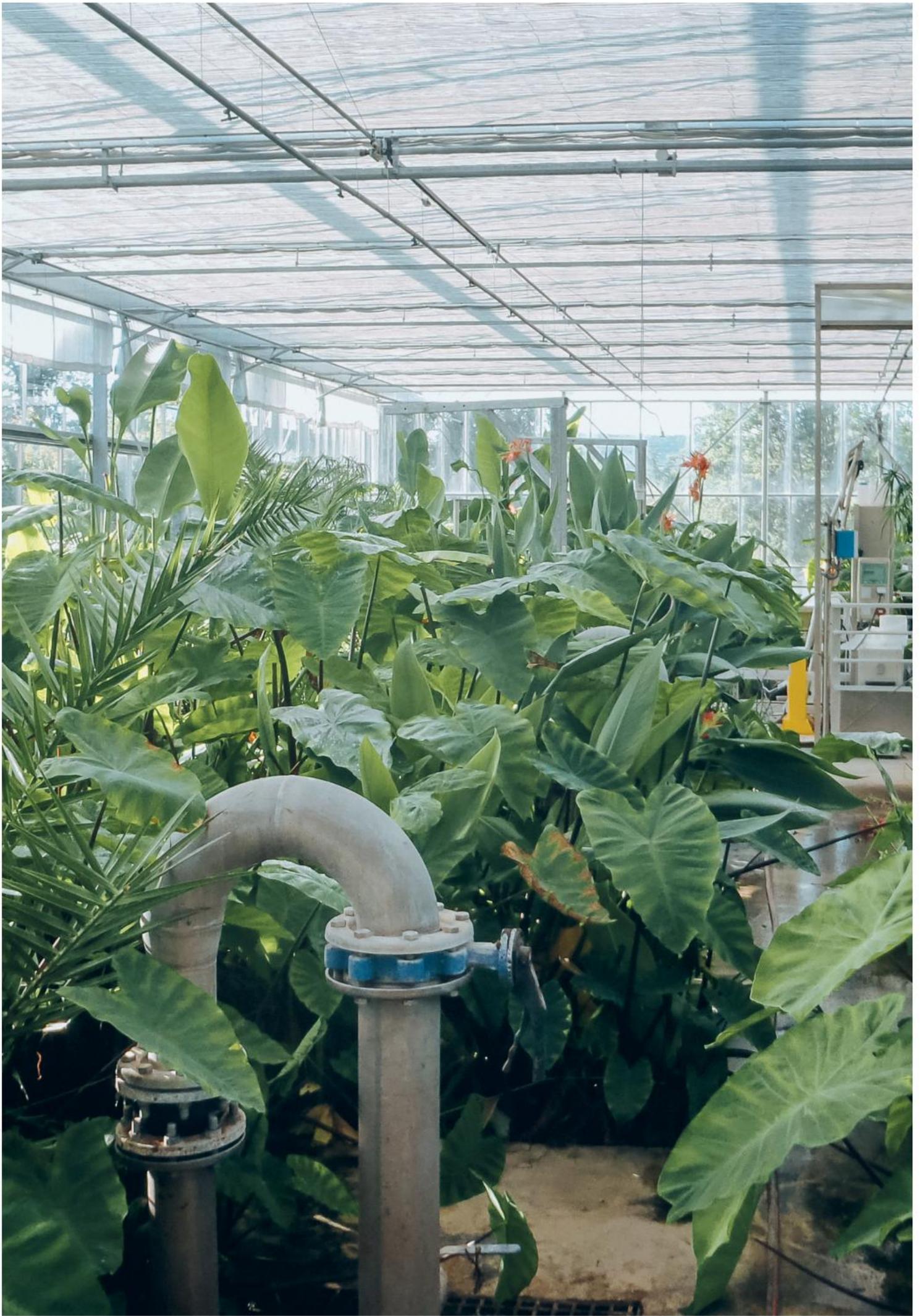
Eau grise
Eaux usées
ménagères
(douche, vaisselle,
WC, etc.)

Eau noire
Fèces

Eau verte
Eau de pluie
absorbée par les
plantes, stockée
dans le sol
ou évaporée

(réservoir en hauteur ou château d'eau) pour être distribuée par gravité jusqu'à nos robinets. L'eau potable est acheminée par un réseau de canalisations vers les différents points de consommation : bâtiments, jardins publics, fontaines, etc. Après usage, domestique ou industriel, les eaux usées sont récupérées par le réseau des égouts et acheminées vers des stations de traitement des eaux usées (STEU) où elles sont traitées avant d'être rejetées dans les cours d'eau. À l'endroit du rejet, certains polluants qui n'ont pas été dégradés par les traitements peuvent subsister. Ils sont dilués dans les cours d'eau, puis en partie éliminés par le sol sur leur trajet vers les nappes souterraines ou la mer.

Dans certains cas, l'eau qui alimente les industries et les espaces verts comme les golfs peut être puisée directement dans les cours d'eau, voire dans les nappes, évitant ainsi de consommer de l'eau potabilisée pour des usages qui ne le nécessitent pas. L'eau d'irrigation des cultures provient majoritairement des cours d'eau, mais aussi des nappes souterraines. En France, la moitié des volumes prélevés dans les eaux superficielles sert à refroidir les centrales (thermiques, nucléaires). →



Le coût de l'eau potable

Sur notre facture d'eau, outre les taxes, environ la moitié de la somme que nous payons correspond à notre consommation d'eau potable, l'autre moitié aux coûts de collecte et d'assainissement. « En réalité, fait remarquer Jean-Philippe Steyer, chercheur au Laboratoire des biotechnologies de l'environnement (LBE) et chef adjoint du département Transform d'INRAE, *l'entretien des égouts représente la partie majoritaire de ces coûts d'assainissement. Notre réseau d'égouts est vieillissant, ajoute le chercheur, et son taux de remise en état (0,4% par an) est insuffisant. De ce fait, le réseau est perméable: 20% du volume d'eau usée est perdu en route avant d'arriver à la STEU!* » Dans certaines villes, surtout anciennes, il y a un réseau unique pour collecter les eaux usées et les eaux pluviales. Aujourd'hui, ce modèle n'est plus autorisé par la loi. Il pose en effet plusieurs problèmes: il oblige à surdimensionner la capacité des STEU pour traiter ces grands volumes dans lesquels les eaux usées sont diluées. De plus, en cas de fortes pluies, lorsque la capacité du réseau de collecte est dépassée, les eaux surabondantes sont directement reversées dans les cours d'eau par un système de trop-plein que l'on appelle les déversoirs d'orage. Les eaux rejetées dans le milieu sont alors un mélange d'eau pluviale et d'eaux usées non traitées, source de pollution pour le milieu naturel. Le renouvellement nécessaire des réseaux d'égouts permet de les repenser et de séparer les circuits d'eaux pluviales et d'eaux usées. Il pourrait être intéressant d'aller plus loin dans ce concept de réseau séparatif et de trier les différents types d'eaux usées pour mieux les traiter, voire les valoriser: eaux grises (ménage), eaux jaunes (urine), eaux noires (fèces). ●

1. Les statistiques comptabilisent la quantité d'eau potable produite sur le territoire (qu'elle soit consommée au sein du foyer ou pour d'autres usages), divisée par le nombre d'habitants. Elles prennent donc en compte les fuites

sur les réseaux, les consommations des industriels reliés aux réseaux d'eau potable, celles dans les services publics, etc. Ce qui donne en 2020 une moyenne 100 à 150 litres/personne/jour (source: url.inrae.fr/3ZKufzT).

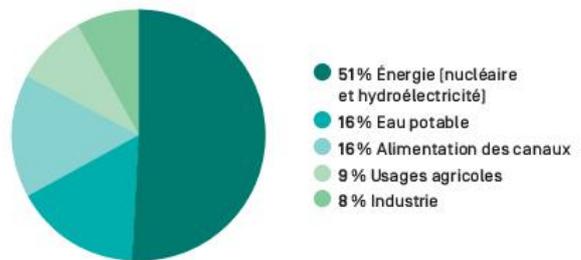
INNOVATION

Dépolluer à la source

Sur les 37800 captages d'eau potable en France, 4600 ont été fermés sur la période 1980-2024 et 1100 sont jugés préoccupants pour leur qualité. Réduire la pollution de ces zones est indispensable pour garantir une meilleure qualité de l'eau. Une solution ? Y implanter des cultures de miscanthus, une plante pérenne qui permet non seulement de capter l'azote du sol, mais surtout de le recycler, ce qui limite la pollution de l'eau par les nitrates. Autres atouts, cette plante ne nécessite que très peu de traitements herbicides

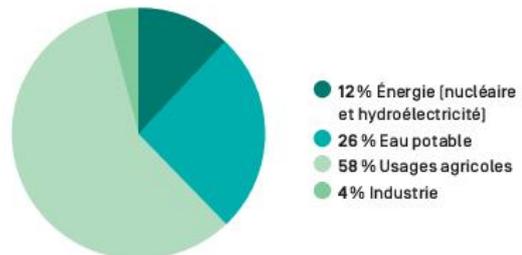
et aucun fongicide, ce qui facilite sa culture par les agriculteurs qui peuvent valoriser cette biomasse en litière horticole ou en biocombustible. « Dans nos recherches, on s'est aperçu qu'il y avait des variations entre les génotypes de miscanthus et que certains avaient une capacité plus élevée à absorber et à recycler l'azote. Nous étudions actuellement plus de 80 génotypes pour sélectionner des variétés adaptées à ce contexte particulier », explique Maryse Brancourt-Hulmel, chercheuse à l'unité BioEcoAgro d'INRAE.

PRÉLÈVEMENTS D'EAU EN FRANCE



CONSOMMATION D'EAU EN FRANCE

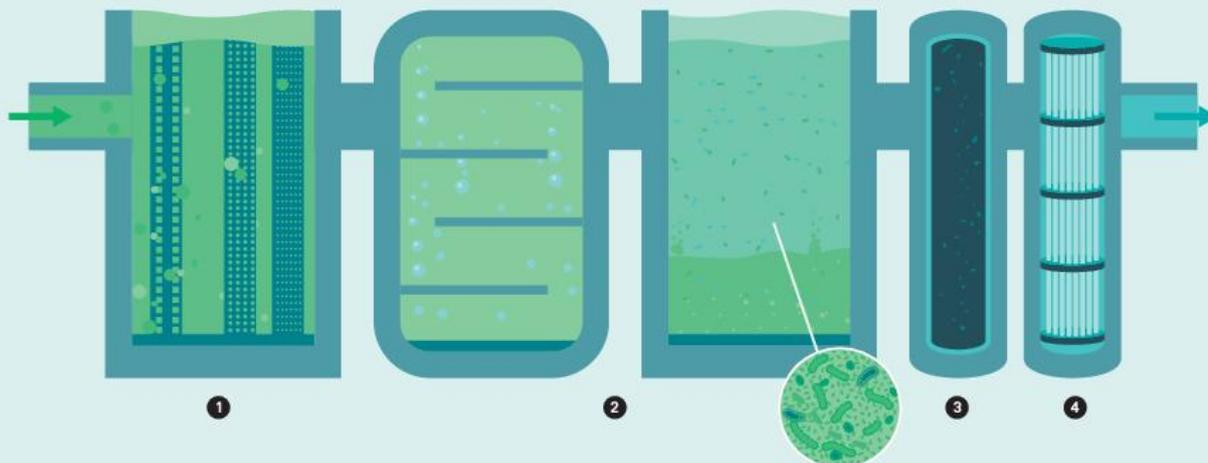
(qui correspond au prélèvement moins la restitution directe aux milieux aquatiques)



À noter que l'eau utilisée par l'agriculture est restituée au milieu naturel: plantes, sol et nuages via l'évapotranspiration des plantes.

Deux méthodes d'épuration des eaux usées

ÉPURATION AVEC UNE SÉRIE DE TRAITEMENTS



Véritable usine à dépolluer, elle combine l'effet de filtres mécaniques avec l'action dépolluante de bactéries, appelées boues activées.

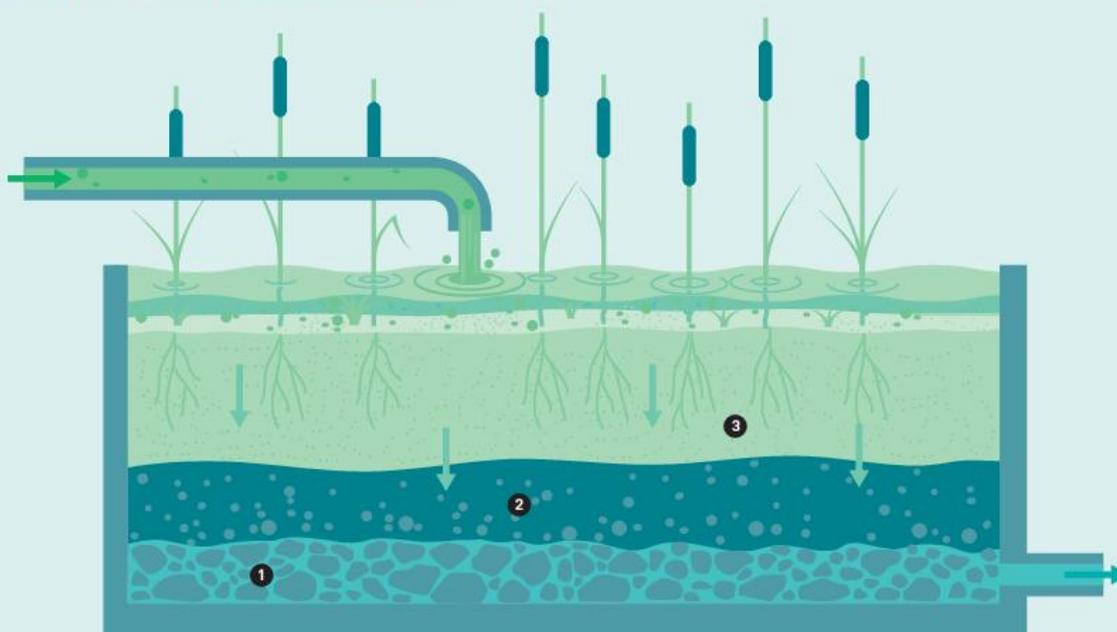
1 Prétraitements et traitements primaires
L'eau passe dans des grilles et des tamis pour filtrer les plus gros déchets : graviers, sable, huiles. Les particules sont retirées par décantation.

2 Traitement secondaire
Ce traitement biologique de l'eau dégrade la matière organique grâce à des bactéries. Les boues (bactéries en excès) sont ensuite traitées et utilisées pour l'épandage en agriculture ou la méthanisation.

3 4 Traitements tertiaires et quaternaires
Ces traitements (filtres membranaires, UV, ozonation, charbon actif, etc.) éliminent les micropolluants et les microorganismes (antibiotiques, hormones, médicaments, micro-

plastiques, etc.), affinant ainsi l'épuration de l'eau. De plus en plus utilisés, ces traitements seront bientôt obligatoires pour les STEU de grande taille, pour répondre aux enjeux environnementaux.

ÉPURATION À BASE DE FILTRES PLANTÉS DE ROSEAUX

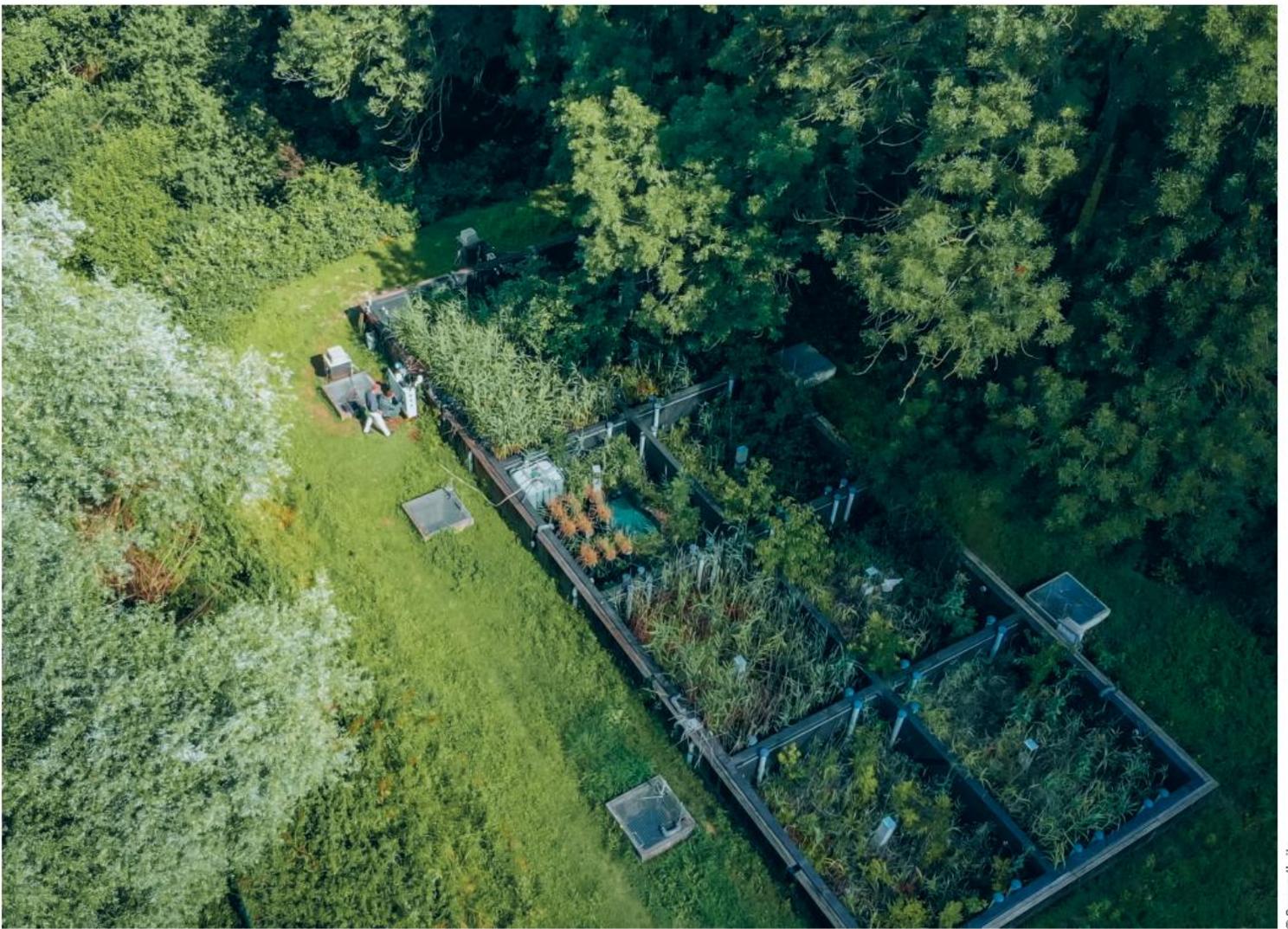


Dans des bassins creusés, un sol artificiel est créé à base de galets **1**, graviers **2** et sables **3**, et des roseaux y sont plantés. Les eaux usées, après avoir subi un prétraitement

(voir étape 1 de la station d'épuration avec série de traitements) passent par ce filtre et sont épurées par les bactéries qui s'y développent naturellement. Ce procédé

est beaucoup moins énergivore que celui utilisant une série de traitements, mais nécessite plus d'espace. Une meilleure oxygénation des bactéries (grâce à un système de bullage

au fond du bassin) permet d'intensifier le dispositif et de gagner de la place. En France, 25% des STEU sont à base de filtres plantés de roseaux (plus de 6 500).



© Ouvrez l'œil

①

Au cœur des labos

Réutiliser les eaux usées traitées, ça s'expérimente !

Il y a la théorie en laboratoire, mais il y a aussi la pratique ! INRAE dispose de plusieurs sites expérimentaux pour tester, grandeur nature, des solutions pour mieux traiter les eaux usées et mieux les réutiliser.

Améliorer les performances des stations d'épuration, se servir des plantes pour assainir l'eau, tester l'irrigation avec des eaux usées traitées... Découvrez en images des exemples d'expérimentations menés à INRAE.







① Des Solutions fondées sur la Nature pour traiter les eaux usées

La plateforme de recherche et développement REFLET située à Craponne (Rhône) développe des systèmes à base de végétaux pour traiter et valoriser des eaux usées, des boues et des rejets urbains en temps de pluie. 9 casiers de 20m² chacun permettent de tester différents procédés à une échelle semi-industrielle pour répondre aux problématiques auxquelles sont confrontés nos partenaires (bureaux d'études, entreprises, maîtres d'ouvrage).

Unité de recherche REVERSAAL – Centre INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes.

② ③ Des mini-stations d'épuration

Près de Lyon, la plateforme de recherche de la Feyssine (Rhône) est une installation unique en France de 150m² qui héberge de petites stations d'épuration. La plateforme comporte en fixe 2 stations de taille semi-industrielles de traitements biologiques et 4 filtres plantés de roseaux. Elle accueille temporairement d'autres systèmes suivant les projets de recherche. Grâce à son implantation

proche de la station d'épuration de Lyon, la plateforme dispose en permanence d'eaux usées « fraîches » et de boues à différents stades de traitement. Ainsi, la qualité de l'eau issue des petites stations suivies est mesurée à chaque étape, par sondes en temps réel, ou dans les laboratoires attenants au hall de la Feyssine.
Unité REVERSAAL – Centre INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes.

④ La REUT grandeur nature

À Murviel-lès-Montpellier (Hérault), INRAE dispose d'une plateforme pour tester la réutilisation des eaux



© INRAE - Marie Wawrzykowski

⑤

usées traitées. Elle est composée d'une parcelle irriguée de 0,5 ha sur laquelle poussent des vignes, de la luzerne et des arbres fruitiers. Les eaux usées traitées provenant de la station d'épuration voisine sont utilisées par un agriculteur pour irriguer une partie de la parcelle en système goutte-à-goutte. La plateforme teste également en conditions contrôlées un filtre planté bio-augmenté pour réduire les contaminants pharmaceutiques des eaux usées. Un projet en collaboration avec HydroSciences Montpellier.

Unité G-EAU (Gestion de l'eau, acteurs, usages) - Centre INRAE Occitanie-Montpellier.

⑤ Des systèmes végétalisés pour protéger les rivières à l'étiage

Les eaux usées traitées, si elles ne sont pas réutilisées pour la REUT, sont rejetées dans le milieu naturel (cours d'eau, mer, sol, etc.). Un site expérimental a été construit à Bègles (Gironde) dans le cadre du projet Biotrytis pour tester des zones de rejet végétalisées (ZRV) qui sont placées entre la station d'épuration et le milieu de rejet.

Le site comprend 6 zones de rejet végétalisées de taille semi-industrielle de trois types différents (« prairie », « fossé » et « autres ») alimentées par des eaux usées, et équipées pour réaliser des prélèvements d'eau et de solides (dépôts, sols, végétaux). Les ZRV permettent de protéger les milieux récepteur de surface des rejets des STEU, notamment lorsque les cours d'eau sont bas.

Unités REVERSAAL et Riverly - Centre INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes. Unité Opaale - Centre INRAE Bretagne-Normandie.



« Les STEU devront être plus performantes et moins énergivores »

Entretien avec Sylvie Gillot, directrice de recherche à l'unité Réduire, valoriser, réutiliser les ressources des eaux résiduaires [REVERSAAL] d'INRAE

Les stations de traitement des eaux usées (STEU) vont devoir s'adapter à la réglementation, améliorer leur bilan énergétique et leurs performances écologiques. Éclairage de Sylvie Gillot, spécialiste du traitement biologique des eaux usées.

Comment évolue la réglementation pour les STEU ?

La réglementation européenne est devenue plus exigeante en 2024. Elle prévoit notamment pour les STEU de plus de 150 000 équivalents-habitants (EH) de revoir les seuils de concentration en azote et en phosphore¹, une obligation de traitements quaternaires pour dégrader les micropolluants (filtre sur charbon actif ou ozonation) avec le suivi d'au minimum 6 micropolluants sur une liste de 12. Elle prévoit également la neutralité énergétique au niveau national pour les STEU à partir de 10 000 EH d'ici 2045.

Les STEU devront donc être à la fois plus performantes et consommer moins d'énergie : un défi de taille que de concilier ces deux objectifs ! En effet, renforcer les traitements est énergivore. Un audit énergétique détaillé obligatoire permettra d'équilibrer les différents postes pour atteindre la neutralité énergétique suivant les caractéristiques de chaque STEU (aération des boues, pompage, séchage des boues à

éliminer, etc.). Notre équipe a développé un outil de pré-diagnostic énergétique, Énergie STEP, qui compte plus de 300 utilisateurs [collectivités, bureaux d'études...].

Quelles sont les principales innovations ?

La station d'épuration de demain devra également valoriser les ressources contenues dans les eaux résiduaires, selon les principes de l'économie circulaire : matière organique, nutriments, métaux et, bien sûr, l'eau elle-même, via la réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Par exemple, on travaille des procédés permettant de valoriser la matière organique des boues en optimisant leur transformation en biométhane, source d'énergie. Pour améliorer encore le bilan énergétique, on étudie également un type de bactéries particulières qui dégradent l'azote en consommant moins d'oxygène. La surveillance du devenir des molécules devra bénéficier des innovations numériques. La modélisation peut permettre de simuler le devenir de nouvelles molécules à surveiller telles que les micropolluants. L'intégration de l'ensemble de ces paramètres permettra de modéliser la STEU de demain, ou même d'après-demain, sous forme d'un jumeau numérique pour tester des scénarios d'optimisation en temps réel.

... Et pour après-demain ?

Toujours pour mieux valoriser les ressources des eaux usées, des procédés de pointe sont à l'étude. Par exemple, les procédés bioélectrochimiques couplent des microbes avec des circuits électriques pour produire à partir de biodéchets des molécules d'intérêt pour la chimie verte ou les biocarburants.

Une innovation majeure consisterait également à trier les eaux en amont de la STEU : on pourrait ainsi traiter séparément l'urine, qui apporte 80 % de l'azote à éliminer, tout en produisant un fertilisant liquide [voir l'article p. 68 dans ce dossier]. On pourrait de même récupérer le phosphore des fèces sans le diluer. Enfin, la séparation des réseaux d'eaux pluviales et d'eaux domestiques est en cours dans de nombreuses collectivités, comme la métropole de Lyon. Elle constitue un véritable défi en matière de travaux et de coûts d'investissement, mais s'avère nécessaire pour éviter de surdimensionner les STEU, comme c'est le cas aujourd'hui pour absorber les afflux d'eaux (usées et pluviales) lors de fortes pluies, un fonctionnement coûteux sur le plan énergétique et qui pénalise le traitement.

1. Celui de l'azote en sortie de STEU passe de 10 à 8 mg/L, celui du phosphore passe de 1 à 0,5 mg/L.

L'EAU, ÇA SE RECYCLE ?

Face à la pression croissante sur les ressources en eau, la réutilisation des eaux usées traitées paraît une solution prometteuse. En recyclant cette ressource, souvent négligée, on peut économiser l'eau potable et sécuriser son approvisionnement, surtout lors des périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes. Mais comment et à quelles conditions ? **Éclairage.**

Les eaux usées traitées sont généralement rejetées dans le milieu naturel. Mais il est possible pour différents usages, en particulier dans l'agriculture, de les récupérer avant, directement en sortie des stations de traitement (STEU) : c'est ce que l'on appelle la REUT pour « réutilisation des eaux usées traitées ». Pour la REUT, la réglementation requiert un (ou plusieurs) traitement d'assainissement supplémentaire de l'eau, qui varie selon les usages et la qualité d'eau recherchée : « Cette eau est très contrôlée et réglementée pour éliminer tout risque de contamination de la chaîne alimentaire », indique Dominique Patureau, directrice adjointe du Laboratoire de biotechnologie de l'environnement d'INRAE. Actuellement, les usages principaux concernent l'irrigation, mais ils se diversifient en milieu urbain : arrosage des espaces verts, des golfs, nettoyage de la voirie, alimentation des pompes à incendie, etc. Ce recyclage de l'eau peut aussi être pratiqué en circuit interne dans les industries alimentaires, sans passer par l'étape station d'épuration. Ainsi, l'entreprise Volvic projette de réutiliser l'eau de lavage des bouteilles pour le nettoyage de ses bâtiments.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Favoriser l'infiltration des eaux de pluies dans le sol évite qu'elles ne rejoignent le réseau des égouts et saturent les STEU. Mieux vaut donc concevoir des villes « éponge » plutôt que des villes « entonnoir », en évitant d'imperméabiliser les sols. Pareil pour les jardins des particuliers : mieux vaut privilégier la terre ou le gravier au béton.

En France, la REUT est peu développée, elle concerne officiellement moins de 1% des eaux usées traitées¹. Un programme gouvernemental ambitieux vise un objectif de 10% en 2030². Pour Rémi Lombard Latune, ingénieur de recherche INRAE à l'unité REVERSAAL, cet objectif est très élevé au regard de l'évolution du nombre de projets de REUT en France, qui stagne, voire régresse, surtout en agriculture, pour différentes raisons. En particulier, la réglementation impose des traitements supplémentaires coûteux et énergivores, qui alourdissent le bilan environnemental de la REUT en matière d'émissions de gaz à effet de serre. Le scientifique note cependant que les normes sont encore plus strictes dans d'autres pays comme Israël, les États-Unis ou l'Australie. On comptait, en 2022, 104 projets en fonctionnement en France, alors que l'objectif gouvernemental serait de développer 1000 projets supplémentaires d'ici 2028. Pour Dominique Patureau, la réglementation, même si elle peut freiner des projets, a l'avantage de stimuler la recherche et l'acquisition de connaissances. C'est pour ces raisons qu'en France la pénurie d'eau n'est pas de nature à accélérer le recours à la REUT pour

l'instant, sauf dans certaines régions comme l'Occitanie. Dans les pays où l'eau est un enjeu plus critique, la REUT se développe à une tout autre échelle, allant jusqu'à potabiliser l'eau : 85 % pour Israël, 90 % pour Chypre, 14 % en Espagne, 8 % en Italie.

La REUT, une opportunité pour l'agriculture

L'agriculture, qui dépend fortement de l'accès à l'eau, est menacée par des sécheresses de plus en plus fréquentes. Utiliser de l'eau de REUT pour l'irrigation des cultures s'avère une véritable opportunité. Mais à quelles conditions ?

Il y a plusieurs avantages à utiliser l'eau de REUT pour l'agriculture. D'abord, cela permet d'éviter une potentielle pollution du milieu naturel, comme cela peut se produire au point de rejet des STEU dans les cours d'eau. De plus, l'eau de REUT qui sert à irriguer des cultures ou arroser des espaces verts est de meilleure qualité, car elle a subi un ou plusieurs traitements supplémentaires. Elle est en partie consommée par les plantes et le reste se retrouve dans le sol avant de retourner dans les nappes ou les cours d'eau. Or, le sol est un excellent épurateur, à la fois par ses capacités de filtration et grâce à l'action dépolluante des microorganismes qu'il contient. La REUT contribue ainsi à réduire la pollution des cours d'eau. Enfin, dans l'eau de REUT, il y a des éléments très intéressants pour l'agriculture : l'azote et le phosphore, qui sont des éléments nutritifs pour les cultures. En jouant sur les processus bactériens lors des traitements, on peut favoriser la production de nitrates, une forme d'azote assimilable par les plantes, dans l'eau de REUT utilisée en irrigation, et ainsi diminuer le recours aux engrais azotés de synthèse. Un avantage qui peut s'avérer un inconvénient → puisque la présence de nutriments dans l'eau de REUT peut favoriser le développement de bactéries, dont certaines potentiellement pathogènes. Ces bactéries, en formant des biofilms sur les dispositifs d'irrigation, risquent de les encrasser. « La durabilité des circuits d'irrigation fait l'objet de travaux à INRAE, indique le chercheur de l'unité G-EAU Nassim Ait Mouheb. Ces recherches visent à éviter le colmatage des goutteurs grâce à des traitements de chloration, à identifier les bactéries responsables des biofilms et à évaluer leur impact sur la qualité de l'eau. »

RECYCLAGE À L'USINE

La même eau utilisée plusieurs fois

Autorisée et encadrée depuis 2024, la REUT industrielle est encore peu développée, malgré ses avantages en matière d'économie d'eau, la même eau pouvant être utilisée plusieurs fois en circuit fermé. Parmi les travaux pionniers menés à INRAE, Claire Fargues, chercheuse à l'unité de recherche Ingénierie des aliments Paris-Saclay, a conduit un projet dans une usine bretonne produisant des légumes surgelés : différents types d'eau peuvent être réutilisés dans le processus, avec ou sans traitement selon les cas. Par exemple, les eaux récupérées lors du rinçage après pelage des carottes, ou celles après leur

blanchiment, peuvent être recyclées pour la découpe ou le nettoyage des légumes. Au préalable, il est nécessaire d'établir un inventaire précis du débit et de la qualité des effluents produits à chaque étape de la transformation du légume. Un outil développé par les chercheurs, appelé PINCH Eau, propose des recyclages pertinents à partir de cet inventaire. « Avec ce système optimisé, on peut aller jusqu'à 60 % d'économie en eau potable en conserveries de légumes et dans l'industrie fromagère, et jusqu'à 25-30 % en filière vitivinicole », précise Hedi Romdhana, maître de conférences à Agro-ParisTech, qui a contribué au développement de l'outil.

LE PRIX DE L'EAU PAR M³



EAU POTABLE
4,34 €
en moyenne, toutes taxes comprises : 2,13 € (production et distribution de l'eau) + 2,21 € (assainissement collectif)



EAU DE REUT POUR L'IRRIGATION
- de 1 €
(prix facturé aux agriculteurs) : coûts réels incluant les investissements de 7,5 €/m³ (eau géothermale) à 20 à 30 €/m³ (eau d'irrigation)



EAU « CONVENTIONNELLE »
prélevée dans les cours d'eau pour l'irrigation
0,15 à 0,25 €

Source : www.eaufrance.fr/le-prix-de-leau

Source : Montginoul et al. 2024. TSM 10, 30-38

Source : canaldeprouvence.com/agence-en-ligne/evolution-tarifaire-2024

REUT agricole : des normes trop sévères ?

Il existe cependant un frein à l'utilisation de l'eau de REUT en agriculture : des normes microbiologiques très strictes, bien plus que pour les eaux usées traitées rejetées directement dans le milieu naturel. « Cette eau de REUT est plus contrôlée que l'eau prélevée dans les cours d'eau pour l'irrigation, qui ne fait l'objet d'aucune réglementation », relève la chercheuse Dominique Patureau. Ainsi, la qualité microbiologique et chimique de l'eau de REUT peut s'avérer meilleure que celle de l'eau de certains cours d'eau, a fortiori si celle-ci est prélevée en aval d'un point de rejet de STEU (voir l'infographie p.46-47).

La réglementation européenne fixe 4 classes de qualité d'eau, avec des normes microbiologiques de plus en plus sévères selon que l'on irrigue des légumes consommés cuits ou crus (salades, carottes, etc.). L'eau de REUT doit alors subir plusieurs traitements qui sont coûteux sur les plans économiques et environnementaux, car ils peuvent être très énergivores. L'OMS propose une approche multibarrières pour limiter ces traitements. Le principe consiste à déployer tout au long de la chaîne des « effets barrières » qui diminuent l'exposition du consommateur, ce qui permet de tolérer des seuils microbiologiques moins drastiques tout en garantissant des pratiques sûres. Les directives de l'OMS donnent les valeurs de ces seuils en fonction de chaque effet barrière : irrigation au goutte-à-goutte, lavage, séchage, cuisson des aliments, etc. « Ces valeurs sont calculées par modélisation. Nous menons un programme de recherche pour analyser ces effets barrières en mesurant les concentrations microbiennes réelles dans chaque cas. Nous projetons aussi d'élargir l'étude des effets barrières pour les risques chimiques », complète l'ingénieur Rémi Lombard Latune de l'unité REVERSAAL.

La REUT, ce n'est pas de l'eau en plus !

La REUT « détourne » les eaux usées traitées des cours d'eau dans lesquels elles sont d'habitude rejetées. Cela réduit la pollution des rivières, mais en contrepartie, cela peut affecter leur débit : certains cours d'eau, en période de sécheresse, risquent d'être à sec sans cet apport d'eau. « Le garde-fou actuel est le débit écologique des rivières, débit minimal nécessaire pour le maintien de l'écosystème. Or, ce débit fait l'objet de discussions et il peut être remis

4 CLASSES DE QUALITÉ D'EAU DE REUT (SELON LA RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE)

Classe A
Usage : arrosage des fruits et légumes consommés crus (fraise, salade, carotte, oignon, etc.)
= moins de 10 bactéries *E. Coli*/100 ml*

Classe B
Usage : arrosage des légumes cuits ou sans contact direct avec l'eau (pommes de terre, céréales, fourrages)
= moins de 100 bactéries *E. Coli*/100 ml

Classe C
Usage : arrosage des arbres et vignes
= moins de 1000 bactéries *E. Coli*/100 ml

Classe D
Usage : arrosage des cultures semencières ou énergétiques
= moins de 10 000 bactéries *E. Coli*/100 ml

* La bactérie *Escherichia Coli* est recherchée en tant que témoin de l'efficacité du traitement des eaux de REUT.

en cause localement pour soutenir des projets de REUT», prévient Anne-Laure Collard, de l'unité G-EAU. La chercheuse INRAE, qui étudie le développement de la REUT et son intégration progressive dans la société, observe que l'eau de REUT est souvent perçue comme une ressource d'eau supplémentaire. Ce qui n'est évidemment pas le cas, car l'eau de REUT est à l'origine prélevée, puis restituée dans le milieu. Elle n'est pas une ressource supplémentaire déconnectée du cycle de l'eau et la considérer comme telle risque de créer des inégalités. Par exemple, l'eau de REUT n'est pas soumise à restriction lors des arrêtés sécheresse car elle est considérée comme non prélevée sur les milieux. Ainsi, ceux qui bénéficient d'un accès à l'eau de REUT peuvent continuer à irriguer, alors que leurs voisins qui prélèvent l'eau dans les rivières sont contraints d'arrêter. Cette perception de l'eau de REUT peut amener à augmenter inconsidérément la consommation d'eau, en particulier pour intensifier des cultures ou en irriguer de nouvelles alors que d'autres solutions plus sobres en eau pourraient être recherchées³. Marielle Montginoul, chercheuse à l'UMR G-EAU d'INRAE, a étudié 13 cas de REUT opérationnelles et a souvent observé cet effet « rebond ». Dans un cas caricatural, un nouveau golf en Occitanie prévu pour être irrigué avec de l'eau de REUT est finalement arrosé avec de l'eau potable⁴... Le raccordement à l'eau potable devait être provisoire, en attendant que le circuit de REUT soit mis en place. Mais finalement, quand elle a été disponible, l'eau de REUT s'est avérée trop riche en nutriments, et, comme les apports habituels de fertilisants n'ont pas été réajustés, des champignons sont apparus sur le green. Les gestionnaires ont donc préféré continuer à utiliser de l'eau potable. Pendant ce temps, un autre projet a permis de valoriser l'eau de REUT pour le nettoyage de voiries et l'irrigation d'espaces verts, en substitution de l'eau potable. « Il faut penser en termes de substitution, souligne Marielle Montginoul, c'est-à-dire utiliser l'eau de REUT à la place d'une autre source d'eau, et pas en plus. C'est d'ailleurs une condition posée par les agences de l'eau pour soutenir les projets de REUT. » « Dans tous les pays, on peut observer cet effet rebond », renchérit Jérôme Harmand, chercheur au LBE, qui pilote un réseau de scientifiques dédié à la REUT⁵. Pour lui, la réglementation pourrait être →

À CHAQUE EAU SON EXIGENCE DE QUALITÉ

RÈGLEMENTATIONS

Quelles obligations ?

Pour chaque type d'eau, il existe une liste de substances analysées et réglementées. Pour les eaux usées, les STEU doivent fournir un rapport annuel sur leurs performances d'épuration. Seules les eaux de surface ne font l'objet d'aucune réglementation. Ces eaux reçoivent pourtant plusieurs types de pollution : rejets d'eaux usées traitées en sortie de STEU, eaux de ruissellement en provenance des cultures

contenant potentiellement des pesticides, voire des rejets industriels illégaux. Les eaux de surface sont néanmoins surveillées par les agences de l'eau, qui mesurent chaque mois les concentrations d'environ 70 substances jugées préoccupantes, sur 4 000 sites répartis sur tout le territoire, dans le cadre de la Directive-cadre sur l'eau¹.

1. Directive 2000/60/EU et Directive 2013/39/EU.

CONTAMINATION

Antibiotiques et eaux usées

Notre forte consommation d'antibiotiques a favorisé l'apparition de bactéries résistantes, qui sont susceptibles de se retrouver dans nos fèces, puis dans les eaux usées, avec un risque de dissémination des gènes de résistance. Ce phénomène menace à terme l'efficacité des antibiotiques dans la lutte contre les infections bactériennes. Du fait de la présence de ces gènes de résistance, y a-t-il un risque à réutiliser les eaux usées traitées pour l'irrigation de fruits et de légumes ? Des travaux d'INRAE² ont mesuré la quantité de ces gènes bactériens dans des légumes irrigués avec de l'eau de REUT, qui doit être de classe A, c'est-à-dire contenir moins de 10 bactéries *Escherichia coli* par 100 ml. Il semble,

selon les premiers résultats, que cette valeur seuil soit suffisante pour éviter d'augmenter le taux de gènes de résistance à des antibiotiques dans des légumes crus (carottes) irrigués avec de l'eau de REUT. « Pour l'instant, nous n'observons pas non plus d'augmentation pérenne de la quantité de certains gènes dans les sols irrigués avec des REUT. Nous avons mis en évidence aussi un phénomène intéressant : la plante exercerait un effet barrière vis-à-vis de ces gènes puisque l'on n'observe pas d'augmentation de la quantité de ces gènes dans les racines des plantes », détaille la chercheuse Dominique Patureau.

2. Della-Negra et al. 2024. *Science of the Total Environment* 931,172977.

PRÉVENTION

Limiter les micropolluants

Les micropolluants se caractérisent par leur grand nombre et leur diversité : pesticides, PFAS³, filtres UV, détergents, plastifiants, micro- et nano-plastiques, médicaments. Il est impossible de tous les analyser : environ 300 000 molécules sont répertoriées dans le règlement REACH et 20 000 sont susceptibles de se retrouver dans les eaux usées⁴. Excepté pour l'eau potable, leur présence n'est pas encore réglementée, mais devrait être mieux prise en compte à l'avenir. Une étude INRAE montre que les concentrations de certains polluants (résidus de médicament) mesurés dans des légumes irrigués à l'eau de REUT restent majoritairement inférieures aux seuils de sécurité toxicologique. « Cependant, on ne voit que la partie émergée de l'iceberg, car on ne mesure qu'un petit nombre de substances présentes. De plus, elles sont toujours considérées isolément alors que nous sommes exposés à des mélanges, avec de potentiels effets cocktail », souligne Dominique Patureau.

La meilleure solution reste donc la prévention : limiter le recours à ces molécules et choisir les moins impactantes. Dans ce but, les chercheurs d'INRAE ont créé la base TYPOL (TYpology of POLLutants) qui classe les molécules en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques (masse molaire, nombre d'atomes de carbone...) et de paramètres caractérisant leurs devenir et impacts potentiels sur le milieu et la santé. Cette base répertorie actuellement 800 molécules et permet, à mode d'action égal, de choisir les molécules les moins nocives. « Nous organisons des formations à cet outil pour l'ANSES ou l'INERIS », complète la chercheuse.

3. Per- et poly-fluoroalkylées. La présence de liaisons C-F (carbone-fluor) dans ces micropolluants les rend très difficiles à dégrader.

4. Source : Agence européenne des produits chimiques 2018, url.inrae.fr/402ghcK

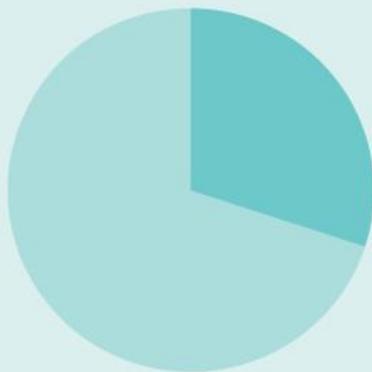
À CHAQUE EAU SON EXIGENCE DE QUALITÉ

LES TYPES D'EAUX PAR NIVEAU MOYEN DE QUALITÉ



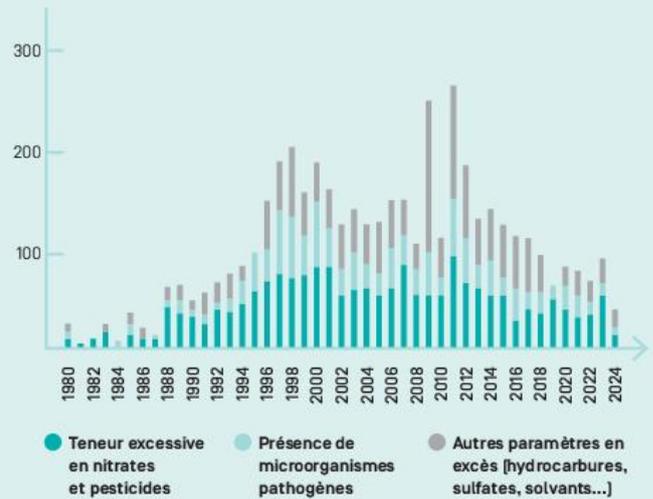
Les différents niveaux de qualité des eaux, par ordre décroissant. La qualité des eaux de REUT se situe, en moyenne, entre celle des eaux souterraines (nappes) et celle des eaux de surface (cours d'eau, lacs, etc.).

QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE EN 2022



- 70 % présentent un bon état chimique
- 30 % sont dégradées, principalement dans les régions d'agriculture intensive

NOMBRE ET MOTIFS DE FERMETURE DES CAPTAGES D'EAU POTABLE



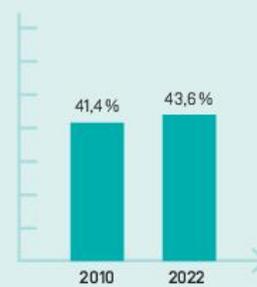
4 600
captages d'eau potable environ (soit 12 %) ont été fermés à cause de la dégradation de la qualité de l'eau sur la période 1980-2024



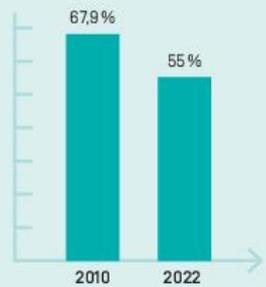
588
pesticides ont été quantifiés au moins une fois dans les eaux souterraines en France métropolitaine sur la période 2019-2022 [sur les 782 pesticides surveillés]



Part des eaux de surface affichant un bon ou très bon état écologique



Part des eaux de surface et souterraines présentant un bon état chimique



Source : url.inrae.fr/4Idx5WK

un levier d'action: conditionner l'accès à l'eau de REUT à l'engagement de ne pas augmenter inconsiderablement les surfaces irriguées, optimiser l'irrigation sur une même surface (système de goutte-à-goutte), mettre des compteurs d'eau ou jouer sur le tarif de l'eau. Le tarif de l'eau de REUT est une vraie question, car la REUT implique des investissements en matière de traitements, de stockage et de réseaux pour acheminer l'eau. Dans le cas du golf cité plus haut, les coûts d'investissements pour le traitement de l'eau de REUT et la construction du réseau ont été pris en charge par l'agglomération de Toulouse. Et in fine, l'eau potable utilisée pour ce golf est financée là encore par la collectivité et les citoyens à travers leur facture d'eau...

Qui paye le coût de la REUT ?

« Le coût de la REUT est rarement pris en charge par les bénéficiaires », résume Marielle Montginoul. Dans la majorité des 13 cas de REUT étudiés, les coûts d'investissements (unités de traitement, canalisations, bassins de stockage) sont supportés par les collectivités locales, les pouvoirs publics, les agences de l'eau ou l'Europe, et non par les bénéficiaires. Dans les projets d'irrigation, les infrastructures de distribution sont largement subventionnées, à hauteur de 60 à 80%. Les agriculteurs assument seulement le reliquat, souvent au travers d'associations d'usagers⁶. Pour être incitatif, le prix de l'eau de REUT facturé aux usagers est davantage fondé sur leur consentement à payer que sur le coût réel. Cette eau est souvent facturée moins cher que l'eau potable, pour laquelle l'utilisateur contribue aux coûts d'assainissement. Avec si peu de recettes pour l'eau de REUT, il est parfois difficile pour les gestionnaires d'assurer la maintenance des installations. De plus, l'eau de REUT est plus chère que l'eau prélevée directement dans les cours d'eau. Elle ne sera donc véritablement incitative pour les irrigants qu'en cas d'assèchement de ces cours d'eau... « Les modèles économiques pour la REUT sont à améliorer. Le financement se fait souvent au cas par cas, sans réelle approche coûts/bénéfices sur le long terme, et certains projets risquent de ne pas être viables dans la durée », conclut Marielle Montginoul.

Pour Anne-Laure Collard, « les projets de REUT, largement financés par l'argent public, devraient faire l'objet de débats. Or, le débat se fait souvent dans des



↑
Recherche de présence de phosphore et d'autres éléments chimiques dans de l'eau issue de station d'épuration.

© INRAE – Marie-Louise Degaudez

LE SAVIEZ-VOUS ?

Il est déconseillé de boire l'eau des cours d'eau. Même les petits cours d'eau en amont des bassins-versants peuvent être pollués, par exemple s'ils se trouvent sur d'anciens sites miniers ou reçoivent des eaux de lessivage en provenance de champs traités ou des eaux de rejet de STEU.

arènes confinées, entre experts et décideurs, et les décisions sont prises sur des critères essentiellement technicoéconomiques. Les sciences économiques et sociales sont encore largement absentes. » La REUT implique une réallocation de l'eau, avec des jeux d'acteurs et des enjeux de territoires forts. Les projets devraient donc être inclus dans une vision globale de la gestion de l'eau, par exemple au travers des PTGE (Plan territorial de gestion de l'eau)⁷.

Les eaux non conventionnelles, un autre type d'eau à fort potentiel

Les eaux non conventionnelles (ENC) désignent toutes les eaux autres que les eaux superficielles ou profondes. Elles englobent les eaux usées (domestiques ou industrielles), mais aussi les eaux de pluies qui ruissellent des toits, les eaux des piscines, de drainage, des mines, de dessalement... Lorsqu'elles sont collectées séparément des eaux usées, certaines de ces eaux peuvent être réutilisées pour l'irrigation ou le nettoyage des voiries, avec des traitements moins lourds. Les conclusions des Assises de l'eau 2019 préconisent de →



tripler le recours aux ENC d'ici 2025. À INRAE, le projet Melting pot étudie la réutilisation de ces eaux à l'échelle d'un bâtiment de recherche : les eaux de pluie (provenant des toitures) et les eaux ménagères (provenant des lavabos, éviers, douches) serviront à alimenter les chasses d'eau ou les dispositifs de recherche : hall d'étude hydraulique, bassins d'élevage, eau de laboratoire. « Dans tous les cas, il faut au préalable analyser les eaux qui vont être recyclées pour adapter leurs traitements à l'usage visé », souligne Rémi Lombard Latune. En effet, les eaux de pluies provenant des toitures, par exemple, peuvent contenir des métaux (zinc) et/ou des particules relarguées dans l'atmosphère par la combustion d'arbres cultivés sur des terrains pollués, par exemple.

À plus grande échelle, les ENC (hormis les eaux usées) peuvent servir à recharger des nappes phréatiques, avec toutes les précautions requises pour en préserver la qualité. Par exemple, un dispositif à l'état de démonstrateur à Bordeaux Métropole recharge de petites nappes urbaines avec des eaux de pluies, qui sont auparavant épurées par des bassins traitant l'eau grâce à des

↑
Système expérimental de purification permettant de recycler les eaux usées dans les distilleries.

© INRAE – Bertrand Nicolas

plantes épuratrices et des microorganismes. Cet apport d'eau douce à proximité de la mer contribue à contrer les entrées d'eaux salées dans les nappes. « La recharge de nappes peut se faire de différentes manières, précise l'hydrogéologue Marie Pettenati, responsable résilience climatique d'Antea Group. On peut favoriser l'infiltration naturelle via des bassins d'infiltration, ou en élargissant le lit des rivières, ou encore en désimperméabilisant le sol. On peut aussi réinjecter de l'eau directement dans les nappes. C'est un sujet délicat qui fait l'objet d'études sérieuses d'impacts sanitaires et environnementaux. »

Penser et agir durable

L'eau est une ressource précieuse, en quantité constante et limitée sur notre planète. Elle se déplace en circuit fermé entre la terre, l'air et les océans et elle peut être utilisée de façon renouvelable à condition de ne pas atteindre un niveau de pollution critique. Nos premiers objectifs doivent être d'économiser l'eau et de diminuer la pollution. La REUT peut faire partie des solutions pour économiser l'eau, mais chaque projet doit être examiné avec ces préoccupations et intégré dans une gestion globale de l'eau sur un territoire. Les traitements des eaux usées sont maîtrisés et peuvent être adaptés pour obtenir l'eau de REUT de la qualité souhaitée pour chaque usage, mais leurs coûts environnementaux et économiques doivent être évalués sur le long terme. Enfin, il est important de repenser les réseaux de collecte des eaux usées pour aller vers une séparation « à la source » des eaux grises, jaunes, noires et de pluies, qui pourraient être traitées différemment et valorisées de manières plus efficaces. ●

1. Lorsque l'eau des cours d'eau est pompée juste en aval des rejets de STEU, on parle de « REUT indirecte », non officielle et non répertoriée, au contraire de la REUT directe qui s'accompagne de traitements supplémentaires.
2. Cet objectif a été étendu à l'ensemble des ENC (eaux non

conventionnelles), voir p. 63.

3. Voir Ressources #2, art. « Irriguer différemment ».

4. Montginoul M. et al. 2024. TSM (*Techniques, Sciences et Méthodes*) 10, 33
5. reuse.hub.inrae.fr

6. De type Association syndicale autorisée (ASA).
7. Voir Ressources #2, art. « Le partage de l'eau dans les territoires ».

RÉEMPLOI DES EAUX USÉES TRAITÉES :

GALERIE D'INNOVATIONS

Irrigation de vignes dans un territoire manquant d'eau, réutilisation des eaux grises dans les quartiers, valorisation de l'urine comme fertilisant... La diversité de ces projets montre que la REUT est une solution innovante et adaptable à l'échelle locale pour valoriser une ressource jusque-là négligée. [Retour sur 4 expérimentations exemplaires.](#)



Photage de la station d'épuration de la Feyssine. © INRAE

IRRIGUER LES VIGNES

Près de Narbonne, en contexte de sécheresses récurrentes, l'irrigation des vignes est devenue nécessaire pour maintenir l'activité. Un dispositif mis en place par INRAE dès 2013 utilise les eaux usées traitées de la STEU de Narbonne-Plage, abondée par un afflux de touristes en été, pour irriguer les vignes situées à proximité au moment où elles en ont besoin. Après 6 années d'étude, le projet est aujourd'hui opérationnel et permet d'irriguer avec de l'eau de REUT un potentiel de 80 hectares de vignes. La moitié des vignes appartiennent à 5 agriculteurs, l'autre moitié sont des vignes expérimentales d'INRAE. Coût du dispositif: 1,3 million d'euros, dont 530 000 pour le traitement tertiaire (subventionné à 50% par la Banque des Territoires) et 770 000 pour le réseau de 7,5 km de canalisations (pris en charge à 80% par des crédits européens). Coût pour les agriculteurs irrigants: 500 à 1000 euros/ha/an comprenant la fourniture d'eau, la maintenance, et le remboursement du reliquat de 20% pour les canalisations.

Ce projet a permis de produire des résultats expérimentaux dans un contexte de R&D. Pour Nicolas Saurin, responsable de l'unité expérimentale INRAE de Pech Rouge, qui conduit les travaux: « *le changement d'échelle*

Le projet est aujourd'hui opérationnel et permet d'irriguer avec de l'eau de REUT un potentiel de 80 hectares de vignes.



↑
Parcelle de vigne irriguée au goutte-à-goutte avec de l'eau de la plateforme expérimentale de REUT en irrigation, à côté de Montpellier.

© INRAE – Bertrand Nicolas

pose de nouvelles questions: par exemple, lors de "coups de mer", la salinité des eaux usées de la station augmente, ce qui sur le long terme peut générer une accumulation de sels dans les sols. »

Dans le contexte actuel de sécheresse et d'incitation politique au déploiement de la REUT, d'autres projets émergent, comme celui d'Argelès-sur-Mer. Bien plus ambitieux, il prévoit d'irriguer 600 ha de vigne et verger, pour un coût estimé à 13 millions d'euros. « *L'irrigation d'une parcelle ou deux modifie peu le fonctionnement d'une exploitation. En revanche, lorsque l'irrigation devient une pratique majoritaire, elle génère des investissements, des charges et des temps de travaux supplémentaires, ce qui demande d'adapter l'organisation* », précise Nicolas Saurin, qui s'interroge: « *Sur Gruissan, la REUT ne permet pas d'irriguer tout le vignoble. Quelles solutions proposer à ceux qui n'ont pas accès à cette eau?* »

RECYCLER LES EAUX USÉES À L'ÉCHELLE D'UN IMMEUBLE OU D'UN QUARTIER

Les eaux grises (eaux ménagères, c'est-à-dire sans les eaux des toilettes) se prêtent bien à la REUT car elles contiennent peu de microorganismes pathogènes et de matières organiques, contrairement aux eaux issues des toilettes. Ces eaux grises peuvent être réutilisées pour divers usages : irrigation des espaces verts et chasses d'eau par exemple, voire machines à laver.

Pour trouver la meilleure échelle et la meilleure organisation, les chercheurs ont développé des modèles incluant l'analyse de cycle de vie (ACV) et capables d'évaluer, selon plusieurs scénarios, les impacts environnementaux (changement climatique, biodiversité, préservation des ressources). Ils calculent ces impacts en réalisant un inventaire de tous les matériaux et opérations nécessaires aux traitements et à l'acheminement de l'eau, avec un degré de précision allant jusqu'à la longueur et au diamètre des réseaux de collecte, la profondeur et la largeur des tranchées, avec les quantités de sable, de graviers, et le temps d'utilisation des machines associées, etc.

L'impact environnemental le plus important de ces projets est la consommation d'énergie fossile, avec ses conséquences sur le changement climatique. Or, les deux postes les plus coûteux énergétiquement sont la construction des réseaux et le traitement tertiaire des eaux par un procédé membranaire. *« Si on mutualise le traitement des eaux avec une seule station pour le quartier, on économise de l'énergie, mais si on considère la longueur des réseaux de collecte et de distribution nécessaires, il vaut mieux un système par bâtiment »,* explique Sarah Manteaux, post-doctorante dans l'équipe de Mathieu Sperandio, directeur adjoint de l'unité

LE SAVIEZ-VOUS ?

Au Moyen Âge, les maraîchers utilisaient directement de l'urine pour fertiliser leurs cultures. L'apparition des égouts et de l'hygiénisme au XIX^e siècle a fait disparaître cette pratique et les engrais azotés issus de la chimie [procédé Haber-Bosch, 1913] ont supplanté l'azote urinaire.



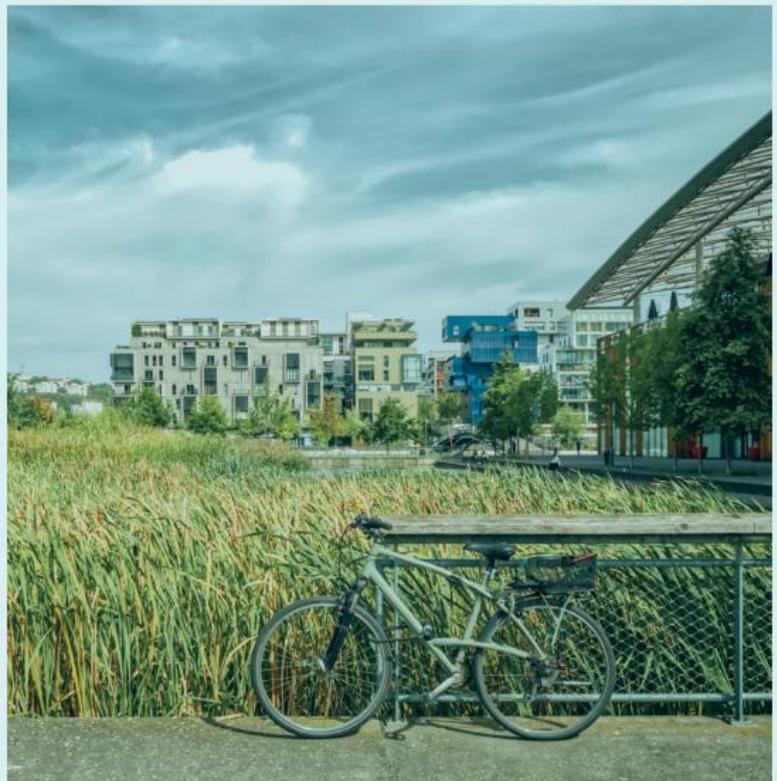
Quartier de La Confluence à Lyon.

© Adobestock

INRAE Toulouse Biotechnology Institute (TBI), qui développe ce type de modèle. Au final, les bilans sont proches, mais il y a quand même un avantage pour le scénario mutualisé avec une seule station de traitement pour le quartier.

On gagne encore en énergie si on ne collecte que la quantité d'eau nécessaire aux besoins, ce qui permet par exemple d'exclure les eaux de cuisine, plus chargées en matières organiques et donc plus difficiles à traiter. Réutiliser les eaux de douche et de machines à laver peut suffire à couvrir les besoins dans ce modèle.

Ce type d'étude peut donner des éléments pour concevoir des écoquartiers proposant un recyclage de l'eau optimisé en matière de consommation d'énergie et, plus globalement, d'impacts environnementaux. Le concept de réseaux séparatifs est essentiel dans ces projets, pour séparer à la source les eaux grises, jaunes et noires.

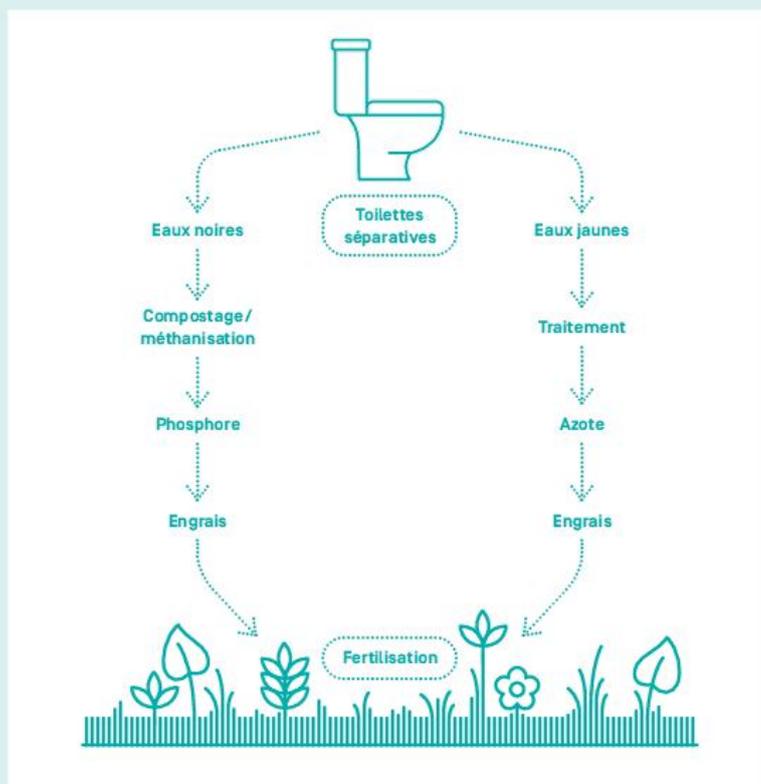


VALORISER L'URINE

« Il va devenir nécessaire de récupérer des éléments comme l'azote ou le phosphore, qui servent d'engrais pour les cultures. Les engrais azotés sont coûteux à produire énergétiquement, tandis que les ressources minières de phosphore risquent de s'épuiser à terme », affirme Florent Levavasseur, ingénieur de recherche INRAE à l'unité Ecosys. Or l'urine est très riche en azote, et les fèces en phosphore... Si on arrive à séparer ces éléments à la source, il sera possible de les valoriser plus facilement. C'est ce qui va se faire par exemple dans un bâtiment de Saclay: les urines des urinoirs sont récupérées dans une cuve en sous-sol, qu'un agriculteur voisin viendra pomper régulièrement pour fertiliser ses cultures. « Le rendement d'un blé fertilisé avec de l'urine est identique à celui d'un blé cultivé avec des engrais azotés classiques », poursuit Florent Levavasseur. L'urine est presque stérile et beaucoup moins chargée en contaminants que les boues issues de stations d'épuration qui sont épandues dans les champs actuellement, même si l'épandage de ces boues est bien contrôlé. La question de la présence de molécules pharmaceutiques doit cependant être bien considérée. Des procédés sont développés pour les traiter si nécessaire. À plus grande échelle, le projet TEVALU (TErritoire VALorisation des Urines) étudie des scénarios de récupération massive

« Le rendement d'un blé fertilisé avec de l'urine est identique à celui d'un blé cultivé avec des engrais azotés classiques. »

Florent Levavasseur



↑
Toilette à séparation d'urine. Les urines sont récoltées dans un réservoir ou dans un siphon séparé afin de les isoler des fèces. De nombreuses initiatives de récupération d'urine existent en France [ZAC Saint-Vincent-de-Paul à Paris, association La Fumainerie à Bordeaux, toilettes estivales à Lyon, Projet Enville au sein d'une AMAP de Châtillon, plusieurs cinémas, écoles, etc.].

des urines sur le territoire toulousain. « Si toute l'urine était valorisée, l'azote récupéré couvrirait les besoins en engrais azotés de la région (3 000 tonnes d'azote par an) », indique Mathieu Sperandio, chercheur à l'INSA. Le projet est évidemment très ambitieux et nécessite une montée progressive en puissance, en étudiant à chaque étape le gisement, le mode de traitement de l'urine et le modèle économique. Des procédés issus de l'université de Zurich ou de l'INSA de Toulouse permettent d'obtenir un fertilisant liquide riche en azote à partir de l'urine. Ces fertilisants sont actuellement testés pour le maraîchage et dans des usages de niche : hydroponie, cultures en serre, engrais pour les stades sportifs. « Il y a plusieurs modèles de collecte des urines, conclut Mathieu Sperandio, plus ou moins centralisés. Il faut comparer les scénarios, faire des analyses de cycle de vie. Les bilans économiques et environnementaux sont complexes, en particulier parce qu'il est difficile de monétariser les services environnementaux, comme les effets des économies d'engrais azotés produits avec de l'énergie fossile. »

CRÉER UNE OASIS DANS LE DÉSERT

Vers Ghardaïa, en Algérie, l'écoquartier de Ksar Taffilelt¹, en bordure du Sahara, a développé une approche innovante de la gestion de l'eau. Les eaux usées de 2 écoles et d'une trentaine de maisons sont récupérées et traitées pour irriguer 200 m² d'oasis situés à proximité. L'innovation réside d'abord dans le dispositif de traitement adapté au contexte local : une fosse septique enfouie et couplée à un réseau de tuyaux d'épandage, sur lesquels sont fixées des bactéries épuratrices. Ce système ne requiert ni dépense d'énergie ni maintenance, et fournit une eau de qualité suffisante pour irriguer des palmiers et des arbres fruitiers sans nécessiter de traitement tertiaire.

«L'innovation est aussi sociale, complète le chercheur Nassim Ait Mouheb, qui a suivi le projet pour INRAE : nous avons organisé de nombreux ateliers avec les habitants, les irrigants et les gestionnaires de STEU pour aboutir à une solution concertée.» Ahmed Nouh, le fondateur de l'écoquartier, conclut que dans cette zone aride qui reçoit moins de 40 mm de pluie par an, il est important que les habitants soient responsabilisés sur la question de l'eau et prennent en charge

Ce système ne requiert ni dépense d'énergie ni maintenance, et fournit une eau de qualité suffisante pour irriguer palmiers et arbres fruitiers.

↓
Implantation d'une ceinture verte irriguée par l'eau de REUT provenant du traitement sur place d'eaux usées de l'écoquartier de Taffilelt (région de Ghardaïa, Algérie).

© Mohamed Khouadja

le traitement de l'eau usée, ou plutôt de «l'eau malade», selon ses termes, car c'est l'être humain qui rend l'eau malade par ses rejets polluants...

Le modèle de Ksar Taffilelt pourra être reproduit pour construire des ceintures vertes autour de quartiers dans d'autres villes du Maghreb. ●

1. Pour plus d'info sur ce projet, voir la vidéo : url.inrae.fr/46uKSU2

