

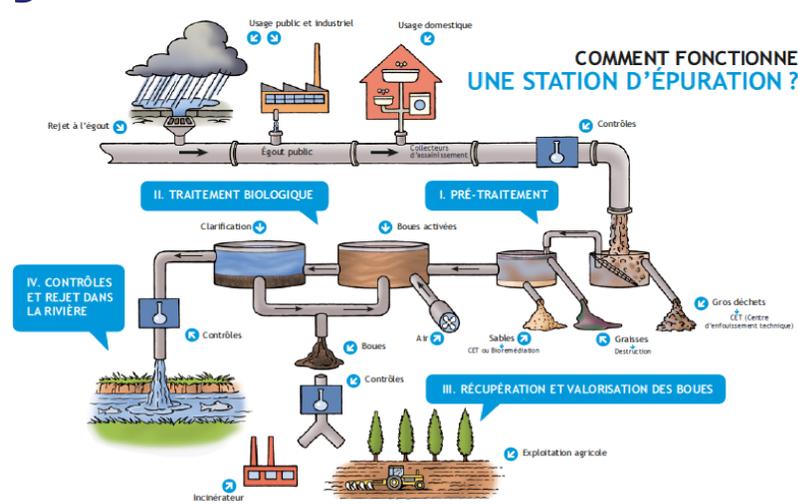
Traiter l'eau, à quoi ça sert?

Les différents types de pollution de l'eau:

- carbonée** : apport excessif de matières organiques dans les milieux aquatiques dont la décomposition consomme de l'oxygène
- phosphorée et azotée** : favorise la croissance des plantes, et peut entraîner un déséquilibre des écosystèmes par une prolifération excessive d'algues, réduisant aussi la quantité d'oxygène
- micropolluants** : ensemble de substances néfastes présentes en faibles concentrations dans l'eau, difficiles à traiter, leurs effets sont mal évalués

Des eaux usées de natures diverses

- Domestiques** :
 - Eaux ménagères (salle de bain et cuisine) chargées en graisses, détergents, déchets organiques...
 - Eaux vannes (toilettes) : matières organiques azotées et germes fécaux
- Industrielles** : très variées d'une usine à l'autre, peut contenir :
 - Les déchets précédents des produits toxiques des solvants des métaux lourds des micropolluants organiques des hydrocarbures...
- Pluviales et de ruissellement** : cette eau se doit d'être traitée car elle récupère une partie de la pollution de l'air et des surfaces :
 - Hydrocarbures
 - Résidus de pneus
 - Fumées industrielles

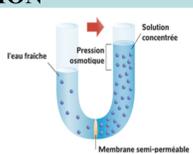


Les technologies de l'avenir

Les technologies utilisées lors du traitement des eaux usées doivent être adaptées aux objectifs de réutilisations de celles-ci. Ainsi si une utilisation agricole de ces eaux est prônée, une ultrafiltration est suffisante mais si on veut avoir la possibilité de réutiliser cette eau de manière domestique, il devient nécessaire d'effectuer une osmose inverse ou alors une distillation membranaire à contact direct.

L'OSMOSE INVERSE (OI) ET L'ULTRAFILTRATION

PRINCIPE
Deux compartiments sont séparés par une membrane semi perméable. L'un contient l'eau à traiter et on applique une pression importante (supérieure à la pression osmotique) et uniquement l'eau traverse la membrane.



PROBLEMES (OI)

- Saturation de la membrane si l'on effectue directement cette technique sur les eaux usées.
- Contraintes mécaniques élevées qui nécessitent des matériaux chers et des coûts de maintenance significative.

SOLUTIONS (OI)

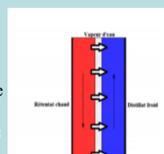
- Effectuer une étape d'ultrafiltration avant l'OI (masse moléculaire limite des espèces transmises par ultrafiltration: 1000 Dalton. Contre 100 Dalton pour l'OI).
- Réduction des coûts significative semble impossible car l'OI est technologiquement mature.

UTILISATION

L'ultrafiltration est actuellement utilisée dans les plus récentes des centrales d'épuration de l'eau mais les autres moyens ne le sont pas pour des raisons de débit et de coût.
L'ultrafiltration membranaire est suffisante pour une réutilisation agricole de l'eau mais pas pour un usage domestique contrairement à l'OI ou la distillation membranaire.

LA DISTILLATION MEMBRANAIRE

PRINCIPE
Deux canaux à des températures différentes sont séparés par une membrane semi-perméable hydrophobe. On évapore l'eau contenu dans le rétentat : seul l'eau va pouvoir traverser la membrane et se condenser pour former le distillat qui aura donc été filtré avec succès.



PROBLEMES

- Effet de diffusion donc processus lent mais possibilité d'augmenter la surface de contact pour assurer un débit suffisant
- Bio colmatage à cause des températures qui favorisent le développement des bactéries.

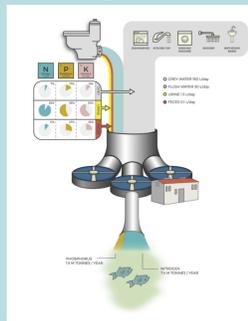
AVANTAGES

- Couplage possible avec une énergie renouvelable comme le photovoltaïque pour réchauffer le rétentat.
- Faible gradient de température nécessaire donc très peu de contraintes mécaniques ou thermiques exercées sur les matériaux.

DEBIT

Le débit de l'ultrafiltration membranaire est très important contrairement à celui de l'OI et de la distillation membranaire (l'un est dû au phénomène de diffusion qui est très lent et l'autre aux maintenances répétées qui baissent le rendement de l'infrastructure).

Séparation des urines à la source



Statut de l'économie des nutriments aujourd'hui:

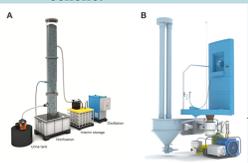
- Les engrais azotés sont produits en usine par des procédés fortement émissifs en GES.
- Le phosphore utilisé dans les engrais est extrait de mines à l'étranger. Classé matériau critique de l'approvisionnement de l'U.E.. Même constat pour le potassium.
- Un français ingère en moyenne 5 kg d'azote et 500 g de phosphore par an, majoritairement relâchés dans les urines (4 kg N, 400 g P).
- Gigantesque gâchis de ressources précieuses et essentielles.
- Nécessité de mise en place d'un système circulaire de revalorisation de l'urine, par des procédés de séparation à la source.
- Passé par un changement de politique publique à propos des procédés de fabrication par des subventions, des projets de lois...

Potentiel nutritif de l'urine:

- Représente 1% des eaux usées en volume.
- Masse d'azote récupérée par mètre cube d'eaux usées traitées : $M = 75 \times 0.75 = 56 \text{ g/m}^3$
- Les seules sources de phosphore provenant des urines combleraient 22% de la demande mondiale.

Deux scénarios principaux de séparation à la source:

- Stockage local des urines puis collecte par des compagnies de transport, pour la fabrication d'engrais. Soulève des problèmes de dépenses pour le transport.
- Procédés de traitement de l'urine sur place. Système de traitement décentralisé, qui permet une potentielle installation dans les milieux défavorisés. Problématique d'installation de systèmes de traitement à petite échelle.



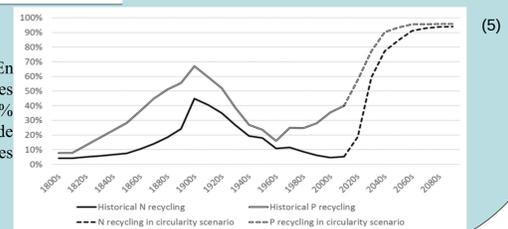
Procédés de récupération domestique de l'azote, du phosphore et du potassium.

Scénario "Circulaire":

On combine les solutions de fin de circuit et la séparation à la source. En supposant la diffusion de ce système aussi rapide que celle des toilettes dans les années 1880, on atteint une couverture de 67% en 2040 et 98% en 2090.. On atteint alors 90% de recyclage de N et P. Les méthodes de traitement sont réparties entre les centres de traitement et les systèmes décentralisés (domestiques par exemple, surtout décentralisé pour N).



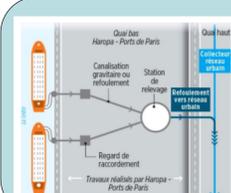
Trois méthodes de séparation à la source des urines.



Une baignade dans la Seine pour les JO 2024 ?

Quels sont les points bloquants ?

- Aujourd'hui, la grande majorité des péniches rejettent leurs eaux usées directement dans la Seine
- Pas de solution technique viable et absence de contrainte réglementaire

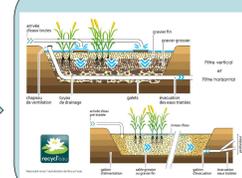


Solutions envisagées

Raccordement "tout à l'égout"
- Solution imposée par la loi à Paris intra-muros pour le traitement des eaux sales



Jardins d'assainissement
- Barges végétalisées directement reliées aux péniches
- Procédé de phytoépuration pour traiter l'eau



Principe de phytoépuration
- Matière solide retenue en surface et sert de compost pour nourrir les plantes
- Fait appel aux bactéries présentes dans les systèmes racinaires des plantes pour épurer l'eau

(1), (2), (3), (4) Randall, D. G., & Naidoo, V. (2018). Urine : The liquid gold of wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering, 6(2), 2627-2635. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.012>
(5) Esculier, F., & Barles, S. (2019). Past and Future Trajectories of Human Excreta Management Systems : Paris in the Nineteenth to Twenty-First Centuries. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-2019-407-491-2>
Autres sources :
VERNOIS, G. (1969). Traitement du petit-lait par osmose inverse. Le Lait, 49(489-490), 605-614. <http://www.fao.org/3/v4988t/w4988t06.htm#:~:text=4.2.1...Pr%C3%A9sence%20d'ur%C3%A9se,%22%20la%20mo%C3%A9%20d'ur%C3%A9se.&text=Ces%20d%C3%A9s%20sont%20pr%C3%A9sentes%20dans,est%20pr%C3%A9sente%20dans%20l'>
<https://www.easymetal.com/fr/technologies/osmose-inverse/le-principe-de-fonctionnement-de-l-osmose-inverse.html>
<http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf>
<https://www.lesu.fr/docap/>
<https://www.siaap.fr/>

