



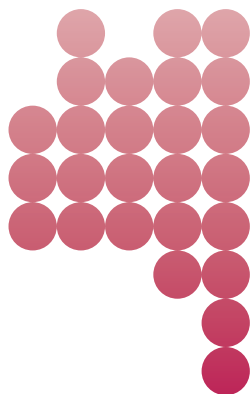
Sommaire

La station d'épuration du futur

- 2 Interview**
Emmanuel Trouvé,
Directeur du programme de recherche
Eaux usées de Veolia Environnement
- 8 Programme de recherche**
Sécuriser les réserves d'eau douce
Energie et plastique sans pétrole
- 11 Méthologie**
Des outils de la microbiologie pour
augmenter les cadences
- 12 Technologie**
Le génie microbiologique au service
de l'optimum énergétique
- 13 3 questions à...**
Arnaud de la Tour du Pin,
Directeur Marketing Municipal Veolia
Water Solutions et Technologies

Demain les stations d'épuration des eaux usées urbaines seront bien plus que des usines de dépollution.

Elles produiront de multiples ressources : de l'eau réutilisable pour les besoins humains, de l'énergie verte, du bioplastique ou des matières minérales. Pour faire entrer l'assainissement dans l'ère de l'éco-économie, les chercheurs de Veolia Environnement, en lien étroit avec les entités opérationnelles du Groupe spécialisées sur ces sujets, associent ainsi biotechnologies, biochimie et microbiologie avec génie des procédés et mathématiques appliquées.

**INTERVIEW****Emmanuel Trouvé**

« La question du recyclage des eaux usées concerne la société dans son ensemble. »



Emmanuel Trouvé,
Directeur du programme
de recherche Eaux usées

emmanuel.trouve@veolia.com

Quelles recherches menez-vous sur les stations d'épuration des eaux usées (STEP) ?

« Aujourd'hui, la fonction essentielle d'une station d'épuration est de dépolluer les eaux usées pour en faire de l'eau propre qui puisse être rejetée dans les cours d'eau ou dans la mer sans dommage pour les milieux naturels ou pour la santé publique. L'objectif est donc de conserver la qualité des ressources malgré l'activité humaine croissante. Une STEP consomme beaucoup d'énergie et de produits chimiques, génère indirectement des gaz à effet de serre et une quantité importante de résidus, surtout des boues. Ces dernières représentent 55 à 60 % de la matière organique entrante. Dans la majorité des cas, elles sont déshydratées avant d'être soit incinérées comme les déchets ménagers, soit épandues dans les champs comme amendement organique¹. Nos recherches visent en permanence à minimiser les impacts des procédés de dépollution sur l'environnement : limiter les consommations énergétiques, les émissions de gaz à effet de serre, les nuisances olfactives, la production

de boues. Mais nos travaux vont plus loin. Nous cherchons à faire évoluer la fonction même de la station d'épuration, pour que les eaux usées soient non seulement dépolluées mais aussi recyclées. »

Pourquoi cette mutation ?

« C'est une nécessité dès lors que l'on travaille dans une perspective de développement durable. On voit apparaître dans les eaux usées des polluants dits émergents qui sont les résidus de produits pharmaceutiques ou de composants chimiques dont certains sont des perturbateurs endocriniens (Cf encadré p.3). Il est possible de capter ces toxiques, mais cela coûte très cher. Il n'est cependant pas souhaitable de les rejeter dans les milieux aquatiques. D'autant que les flux de ces substances sont amenés à augmenter avec la croissance démographique et la concentration de la population dans les villes. L'augmentation prévisible des flux d'eaux usées urbaines collectées pose également une question de rendement des traitements de dépollution mis en œuvre dans les stations d'épuration. Il faut donc

1. L'amendement organique est issu du compostage des déchets organiques (déchets alimentaires, déchets verts, boues issues de l'épuration des eaux). Riche en humus, il est souvent utilisé en épandage pour améliorer les propriétés des sols.



Aujourd'hui, 50 % de la population mondiale vit dans les villes. Ce ratio passera à 60 % en 2030.

épurer mieux et plus rapidement. L'autre élément à prendre en compte est la pression sur les ressources naturelles, qui ne se renouvellent pas au rythme où nous les consommons, du fait principalement de la croissance démographique et des modes de production et de consommation des sociétés industrialisées.»

De quelles ressources naturelles parlez-vous ?

« Il s'agit non seulement des ressources en eau douce – le stress hydrique étant amplifié par des phénomènes climatiques – mais aussi des combustibles fossiles et des matières premières. Le temps est venu de réduire notre empreinte écologique, de limiter nos rejets polluants dans la nature, et de réduire notre consommation de ressources naturelles par un fonctionnement moins dispendieux, plus conforme aux mécanismes de régulation naturelle. Il s'agit de concevoir le traitement des eaux usées selon une logique de cycle. Ce que je reçois, comment puis-je le transformer à des fins utiles ? Autrement dit, comment recycler au maximum les eaux usées ? »

Comment envisagez-vous les stations d'épuration de demain ?

« À l'horizon 2020-2025, la station d'épuration produira non seulement de l'eau propre, pour partie directement réutilisable, mais aussi des bioénergies et des biomatériaux. Cette mutation repose sur un changement de regard. Plutôt que de considérer les eaux usées comme des eaux chargées en polluants, traitons les comme des ressources ! Cela conduit à faire évoluer nos procédés : au lieu d'enlever les polluants par étapes successives pour obtenir de l'eau propre, extrayons les ressources les unes après les autres, à commencer par l'eau, pour les recycler et produire de l'eau propre, et de l'énergie et des matières organiques et minérales. Traitons les polluants en fin de chaîne, une fois qu'ils seront concentrés. »

Vous parlez de recycler l'eau.

Pour en faire quoi ?

« La réutilisation des eaux usées se pratique déjà : à 100 % dans des situations extrêmes – station spatiale, station Concordia dans l'Antarctique ou théâtres d'opérations militaires – et à 20 % environ dans des pays soumis à un grand stress hydrique, en Australie ou au Moyen-Orient par exemple. Il doit être possible de réutiliser les eaux usées à 80 %. Il semble difficile de dépasser

ce seuil pour des raisons économiques : le recyclage des derniers 20 % coûterait plus cher que celui des premiers 80 %.

Une fois le flux principal d'eau séparé et clarifié, il sera traité de façon plus ou moins poussée pour produire différentes qualités d'eau, adaptées à des usages spécifiques : nettoyage des bâtiments, utilisations industrielles (eau de chaudière, eau de refroidissement...), irrigation. Le besoin de désinfection peut être moins poussé que pour produire de l'eau potable ou de l'eau pour l'industrie électronique. L'intérêt du recyclage est que pour un même prélèvement dans les milieux naturels, on démultiplie l'usage de l'eau. Le pompage dans la ressource sera donc en priorité réservé à la production d'eau potable. On économise ainsi la ressource en eau. Les eaux usées dépolluées peuvent aussi servir à recharger les nappes et à accélérer ainsi leur reconstitution. Cette pratique a déjà cours en Australie (Cf article Sécuriser les réserves d'eau douce). Elle permet de maintenir les volumes disponibles pour satisfaire à la demande en eau potable, malgré la sécheresse. Cette technique peut être intéressante sous des climats plus tempérés, pour faire face à des pics de demande locaux en été dans les villes balnéaires par exemple.

Quels seront les procédés mis en œuvre demain pour traiter les différents flux d'eau ?

« Il s'agira de séparer les eaux usées en deux parties, par exemple par un tamisage très fin : un flux important d'eau clair et un flux faible d'eaux usées très concentrées. On commencera donc par extraire une eau à très faible teneur en polluants, de qualité proche de celle d'une ressource en eau de surface avant potabilisation. »

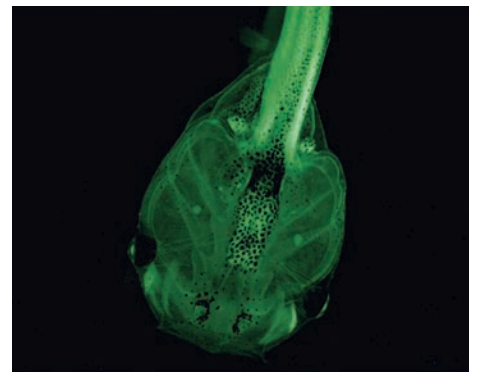
Les perturbateurs endocriniens

On retrouve dans les eaux usées, à des concentrations infimes, des molécules issues de produits chimiques ou pharmaceutiques (solvants, certains additifs alimentaires pour le bétail, contraceptifs oraux, produits de chimiothérapie...). Malgré leur faible quantité, certaines d'entre elles perturbent le fonctionnement du système hormonal, lequel guide la croissance, la reproduction et le comportement des êtres humains et des animaux. Du fait de leur structure moléculaire similaire à celle des hormones naturelles – qui sont en quelque sorte des messagers chimiques qui circulent dans le sang – les perturbateurs endocriniens imitent leurs signaux et déclenchent dans l'organisme des réactions pathogènes. Ils affaiblissent les défenses immunitaires, altèrent le développement et provoquent des troubles de la reproduction. Ils ont des effets de long terme, irréversibles, qui franchissent la barrière des générations. « Fabriqués par l'homme, ils brouillent le système de communication interne (le système hormonal) mis au point par l'évolution des espèces. » (Développement durable, avenir incertains – Christian Lévêque, Yves Sciama – Dunod – 2005).

En collaboration avec WatchFrog - une start-up adossée au CNRS et au Muséum d'histoire naturelle de Paris – qui développe des procédés biotechnologiques in vivo pour différentes applications, dont l'évaluation des risques environnementaux, Veolia a mis au point un outil qui permet de repérer la présence de perturbateurs endocriniens (de type thyroïdien) dans les eaux usées. Avec ce test, les larves de grenouille deviennent fluorescentes lorsqu'elles sont perturbées par un tel polluant. Le degré de fluorescence est mesuré par un outil spécifique, étalonné avec un niveau de fluorescence de base établi sur une eau de référence. Cette méthode est 5 à 10 fois plus rapide que des tests conventionnels.



Larve de grenouille génétiquement modifiée



La larve de grenouille génétiquement modifiée a changé de couleur au contact d'un effluent porteur d'un perturbateur endocrinien.

N'y a-t-il pas de risque d'avoir des polluants émergents dans les eaux propres non potables ?

« La recherche met au point des barrières efficaces contre les perturbateurs endocriniens et les résidus de substances pharmaceutiques, tant en production d'eau potable qu'en traitement des eaux usées. Mais l'enjeu dépasse le cadre de notre métier et concerne la société dans son ensemble. Il est absolument nécessaire de se soucier du devenir de ces molécules au stade de leur conception afin d'envisager les problèmes qu'elles posent. Aujourd'hui, 5 à 6 millions de molécules chimiques sont commercialisées dans le monde. Selon les estimations, 30 000 à 100 000 d'entre elles ont des effets néfastes quand elles sont dispersées dans l'environnement. L'interdiction d'utiliser certaines substances dans les process industriels ou la fabrication de produits a déjà été demandée pour certaines molécules qui ont un impact environnemental ou sanitaire : certains pesticides et herbicides, PCB, CFC dans les fluides frigorigènes... Ainsi aujourd'hui, 25 % à 30 % des déter-

**“ Il y aura 3 filières de valorisation :
la voie énergétique,
la chimie verte
et la chimie minérale ”**

gents domestiques sont facilement dégradables. Le programme européen REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical Substances) a notamment pour objectif d'empêcher la mise sur le marché de substances dangereuses au profit d'autres qui le sont moins. Poursuivre dans cette logique est un enjeu scientifique et sociétal. Il faut éviter de répandre des substances pol-

luantes qui peuvent être dommageables pour la santé humaine et l'environnement et qu'il est très coûteux de traiter au niveau des eaux usées. »

Vous voulez dire qu'il y aura une évolution de l'assainissement au-delà de la station d'épuration ?

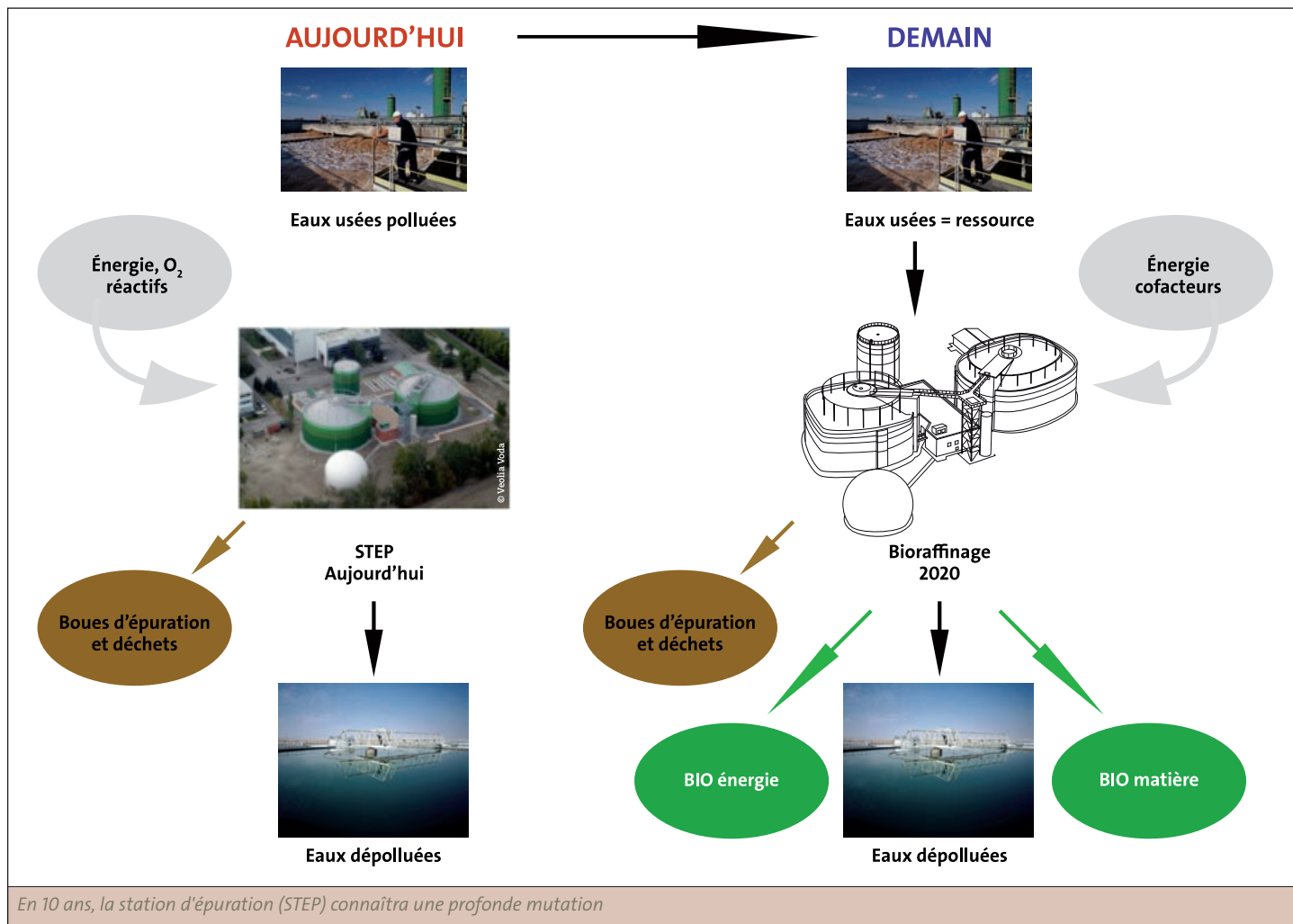
« Oui, la mutation de l'assainissement ne concernera pas seulement le système central – l'usine de dépollution – mais aussi les systèmes décentralisés (assainissement domestique ou petit assainissement) qui représentent 20 à 30 % des eaux usées en Europe. En Asie, depuis 20 ans, les dispositifs de réutilisation des eaux usées sont envisagés au niveau même des immeubles d'une certaine importance, comme par exemple les logements collectifs. On peut imaginer que l'eau potable soit réservée aux usages nobles – pour boire, faire la cuisine, se laver. Une fois utilisée, cette eau devenue « grise » peut être recyclée pour le lavage de sol ou l'alimentation des chaudières. Une partie de l'eau potable servirait donc 2 fois avant d'être rejetée à l'égout. Ce système ne nécessite pas de doubler les réseaux d'arrivée d'eau en dehors des colonnes montantes et descendantes, mais nécessitera un contrôle très strict des installations afin d'éviter des erreurs pouvant être dommageables à la santé publique. »

Comment valorisera-t-on les substrats solides des eaux usées ?

« Il faudra trier les matières pour les aiguiller, en fonction de leurs caractéristiques, sur la voie la plus judicieuse, là où elles seront le plus utiles. On ira au-delà de la seule caractérisation de leur teneur en matière organique telle qu'on le fait aujourd'hui, en distinguant les protéines, les sucres, les lipides, les fibres, etc., par des analyses rapides, de type fluo 3D par exemple. Il y aura 3 filières de valorisation : la voie énergétique, la chimie verte et la chimie minérale. Une partie des matières qui ont un fort potentiel énergétique (les sucres, les graisses, les protéines) sera orientée vers un réacteur pour produire du biogaz. Faire de l'énergie à partir de cette matière organique est déjà une réalité comme le montrent nos exploitations à Prague, Budapest ou Braunschweig. Le reste de la matière organique sera orienté vers la chimie verte, dès lors qu'elle pourra y trouver des débouchés directs ou indirects.



Usine Veolia d'Illawarra, Australie



Enfin, les constituants comme l'azote, le phosphore et le soufre seront extraits pour être livrés à des producteurs de fertilisants ou à des formulateurs. Il s'agit d'une restitution au sol contrôlée de certains ingrédients minéraux des eaux usées.»

À quoi va servir le biogaz ?

« Il est le résultat de la transformation du carbone, qui se trouve dans les eaux usées, en méthane et en CO₂. La méthanisation de la matière organique des eaux usées est déjà pratiquée, notamment dans les pays comme l'Allemagne où l'énergie est plus chère qu'ailleurs. Cette production d'énergie renouvelable (biomasse) ne va pas perturber le marché de l'énergie. Notre objectif est de parvenir à l'autonomie énergétique des usines de traitement des eaux usées. Déjà, les usines de Brunschweig et de Budapest couvrent la quasi-totalité de leurs besoins en méthanisant leur boues avec des coproduits comme les invendus ou les produits périmés de supermarchés et en alimentant des turbines électriques avec le gaz ainsi produit. Dans des cas ponctuels, s'il y a un surplus, le méthane pourra être

aussi utilisé localement dans des réseaux de gaz ou comme bioGNV*.»

Sur quoi portent vos recherches en matière énergétique ?

« Nos travaux ont pour objectif d'industrialiser le processus de méthanisation, sans apport de coproduits. Autrement dit, ils visent à avoir une meilleure compréhension des phénomènes et à piloter des réactions biologiques naturelles de telle sorte qu'elles génèrent davantage de méthane. Il s'agit de microbiologie industrielle. Il nous faut identifier les micro-organismes anaérobies capables d'agir rapidement et de leur fournir des conditions de travail optimales. La production de biogaz génère par ailleurs des jus très chargés en azote. Nous avons mis au point des procédés pour les traiter qui nécessitent quatre fois moins d'énergie que les procédés classiques de nitrification et de dénitrification (Cf article p12 Le génie biologique au service de l'optimum énergétique).»

* BioGNV est l'acronyme de bioGaz Naturel Véhicule. Comme son nom l'indique, ce type de biogaz est utilisé pour certains types de véhicules adaptés. Il s'agit donc d'un carburant renouvelable qui offre une forme intéressante de valorisation du biogaz.



La chimie brise les images les plus ancrées dans l'inconscient collectif : même l'eau d'un ruisseau de montagne n'est pas pure ! L'eau est le plus formidable des solvants, à laquelle se lie intimement et rapidement de nombreux éléments, solubles. L'eau est à la fois un contenant et un contenu.

Comment ferez-vous pour produire des matières organiques ou minérales qui intéressent d'autres secteurs industriels ?

« Notre ambition est de produire des biomatières conformes aux cahiers des charges des industriels et qui se substituent aux matières issues des hydrocarbures. Au niveau même de nos procédés biologiques de dépollution, nous avons identifié, avec nos collègues d'AnoxKaldnes, des micro-organismes qui, lorsqu'ils sont cultivés d'une certaine façon pour dégrader la matière organique, l'utilisent pour constituer des réserves de biopolymères, lesquels sont similaires à ceux produits par l'industrie chimique à partir du pétrole. La seule différence, c'est qu'il s'agit de carbone vert. Nous allons fournir aux producteurs de bioplastiques des billes de biopolymères qui pourront entrer dans la fabrication de multiples produits : stylos, souris d'ordinateurs, pare-chocs automobiles... Les constituants organiques que nous produirons ne bouleverseront pas le marché des biopolymères, pas plus que nos composés minéraux le marché des fertilisants. Compte tenu de nos faibles quantités, notre priorité est d'assurer des débouchés pérennes à nos produits, en nous assurant que leurs caractéristiques répondent aux spécifications des industriels. Nous cherchons à inscrire nos flux dans un cycle plus global des matières. »

Et les résidus ?

« Ils seront concentrés en fin de chaîne. Ils devraient être inférieurs à 10 % voire 5 % de la matière entrante. Concentrés dans un très faible volume, il peuvent facilement être pris en charge comme des effluents industriels spéciaux – incinérés, inertés ou stabilisés ».

Petite histoire de l'assainissement

Construit à Rome plus de cinq siècles avant JC par un Étrusque, Tarquin l'Ancien, pour déverser les effluents de la ville dans le Tibre, le cloaqua maxima fait partie des systèmes d'évacuation des eaux usées perfectionnés réalisés sous l'Antiquité. Mais avec la chute de l'Empire romain, ces ingénieux systèmes de canalisations sont abandonnés ou détruits.

L'état de salubrité des cités du Moyen-Âge est déplorable. Les déjections sont jetées par les fenêtres et des passerelles relient les bords des rues pour éviter le borborygme des eaux souillées. Mais les gadoues ont une valeur marchande. Elles sont vendues comme

engrais. D'autre part, les urines s'infiltrent dans le sol, se déposent sur les murs des caves sous forme de salpêtre, lequel est utilisé dans fabrication de la poudre à canon.

L'assainissement moderne des villes européennes commence au XIX^e siècle. Le premier tout-à-l'égout apparaît à Hambourg en 1843. On creuse le sol et on enterre des canalisations pour orienter les flux pestilentiels vers les cours d'eau. L'idée est de les éloigner rapidement afin d'éviter inondations et épidémies. Quand Pasteur met en évidence le lien entre hygiène et santé, commence alors l'épuration proprement dite, à la fin du XIX^e siècle. On applique la technique du brassage pour oxygéner et assainir l'eau, selon le processus naturel observé dans les torrents de montagne.

L'assainissement va-t-il devenir un autre métier ?

« Autrefois centré sur des bases hydrauliques, le métier de l'assainissement a intégré la chimie et le génie des procédés, et commence également à recourir aux biotechnologies, à la biochimie et à la microbiologie. Les sciences du vivant ont pénétré nos métiers depuis une quinzaine d'années. Le vivant est extraordinairement complexe, il a des réactions variables et évolue rapidement. Une cellule d'un microorganisme qui vit dans un bassin d'eaux usées compte 4 000 sortes d'enzymes qui catalysent 4 000 réactions chimiques. Cela présente des potentialités formidables que nous cherchons à comprendre et à accompagner, pour produire plus de méthane, plus de biopolymères, pour dégrader de nouveaux polluants... Mais les conclusions que nous tirons de nos observations sont moins tangibles que les lois de la physique ou de la chimie ! Cela nous conduit à devoir nous adapter en permanence pour piloter les procédés fondés sur le vivant. Le recyclage des eaux usées va aussi conduire à repenser la gestion des stations d'épuration et des réseaux. »

Comment ?

« Les fonctions de la station d'épuration vont évoluer, et avec elles, sa physiologie, et aussi sa place dans l'économie. La station d'épuration actuelle, consommatrice d'énergie et productrice de boues coûteuses à traiter, est un centre de coût. Demain, autosuffisante sur le plan énergétique, productrice de substances valorisables et commercialisables, et moins génératrice de résidus, elle présentera un autre équilibre économique. Sans compter que le bénéfice environnemental et sanitaire rendu par l'assainissement, qui n'est pas évalué financièrement actuellement, devrait l'être demain. L'assainissement va entrer dans l'ère de l'éco-économie. »

Les mentalités sont-elles prêtes au recyclage des eaux usées ?

« Le verre recyclé est accepté, les pulls polaires en fibres de plastiques recyclés sont acceptés, le papier hygiénique issu de fibres cellulosiques recyclées est accepté... Le recyclage de matériaux pour produire des biens de grande consommation est entré dans les mœurs. Pour autant, le recyclage des eaux sales en eaux propres risque de se heurter à des réticences culturelles, tant au niveau des

individus, des industries, des collectivités que de la société dans son ensemble. Pour de multiples raisons : la peur de la contamination, le mythe de l'eau pure... C'est pourquoi il serait opportun d'associer à nos programmes des chercheurs en sociologie de l'environnement qui apportent une vision différente pour expliquer les enjeux du recyclage, analyser les éventuels blocages psycho-sociologiques et proposer des solutions pour les lever. » ■

Les 3 phases de l'assainissement aujourd'hui

Phase primaire

Les polluants accessibles simplement sont retirés les uns après les autres. Les éléments de taille importante sont bloqués par un tamis. Ceux qui flottent (huiles, graisses...) sont ensuite retenus par une barrière. Puis ceux qui coulent (grains de sable, particules minérales...) sont raclés au fond des dessableurs.

Phase secondaire

Pour extraire des eaux usées les polluants solubles (café, grenadine...), il est fait appel aux ressources de la biologie. Des microorganismes sont utilisés pour dégrader des matières organiques et minérales (de la taille du nanomètre). De l'ordre du micromètre, ils peuvent être séparés aisément des eaux traitées : ils coulent et sont raclés en fond de bassin. Ils absorbent principalement, sous forme soluble, de l'oxygène, du carbone, de l'azote (présent dans les eaux usées sous forme d'ammoniac et de nitrate) et des phosphates. Ils rejettent du dioxyde de carbone et de l'azote.

Phase tertiaire

Il est parfois nécessaire de désinfecter les eaux usées pour éviter la pollution bactériologique des eaux déversées dans les mers et les cours d'eau, en particulier en zone de baignade.

**PROGRAMME DE RECHERCHE**

Sécuriser les réserves d'eau douce

En utilisant la capacité naturelle d'épuration des sols, Veolia Environnement expérimente la recharge de nappe à partir d'eaux usées traitées pour faire face aux situations de stress hydrique, dans les pays touchés par la sécheresse ou en cas de pics de demande en été.

En Australie, la recharge de nappe à partir des eaux usées dépolluées est testée depuis 1997 pour sécuriser l'approvisionnement en eau de plantations horticoles. Les chercheurs de Veolia Environnement ont constaté que l'eau gagne en qualité lors de son stockage dans le milieu géologique. Dans la continuité de ce projet, ils testent un dispositif comprenant quatre puits, deux pour l'injection d'eaux de pluie pré-traitées, deux autres pour la récupération de la ressource. Ce système (Aquifer Storage, Transfer and Recovery – ASTR) permet d'étudier l'épuration complémentaire qui intervient lors du transfert de l'eau entre les puits. Il est en cours de modélisation.

Épuration par le sol

Les équipes de Recherche de Veolia étudient également sur un pilote la faisabilité de la recharge de nappe côtière à partir des eaux usées épurées. Leur objectif est d'identifier les caractéristiques d'un sol qui présente une capacité épuratoire optimale, d'en comprendre le phénomène et de le modéliser. Ensuite, il sera possible de repérer les sites où la recharge de nappe avec des eaux usées traitées est praticable, ou encore d'améliorer la

composition d'un sol (modification de la granulométrie, ajout de matériaux réactifs...) pour que cela le soit. Il leur faut également étudier l'acceptabilité sociale de la réutilisation des eaux sortant des stations d'épuration.

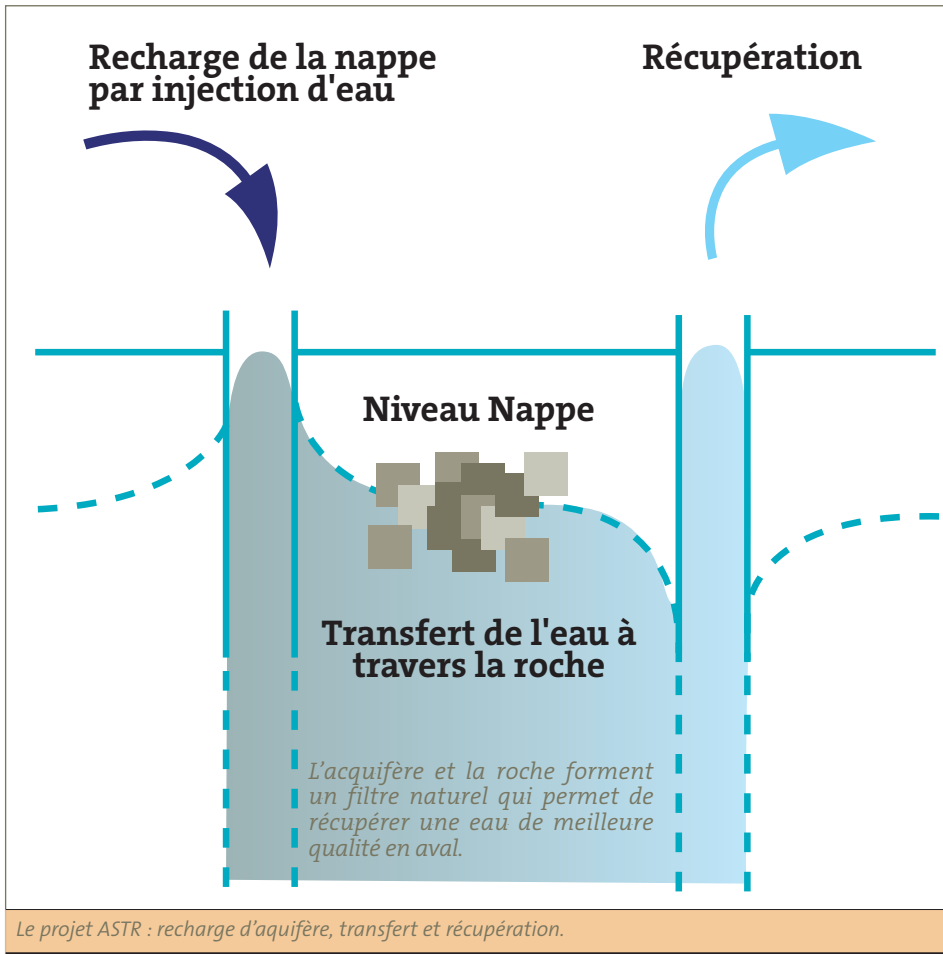
Des eaux usées réutilisées dans la production d'électricité

Confronté à la sécheresse, le gouvernement du Queensland (Australie) cherche à diversifier ses ressources en eau. Mené par Veolia Eau, le projet Western Corridor Recycled Water vise à procurer de l'eau à deux centrales électriques à partir des eaux usées traitées provenant de six stations d'épuration. Celles-ci sont ensuite acheminées, via 200km de canalisations souterraines, vers trois usines de recyclage utilisant des technologies de traitement avancées (microfiltration, osmose inverse, désinfection, oxydation avancée).

Sous les plages, l'eau

Sur le littoral, la demande en eau potable augmente en été du fait de l'afflux touristique - une saison où les nappes ne se rechargent pas beaucoup. En outre, la croissance de la population dans les zones côtières est une tendance lourde de l'évolution démographique - actuellement, un quart de la population mondiale vit à moins de 25 km d'une côte et en France, 10 % de la population réside dans les communes littorales. Le niveau des nappes souterraines dépend de leur alimentation par la pluie,

de leurs échanges positifs ou négatifs avec les rivières, et des prélèvements qui y sont effectués. Si l'on continue à prélever de l'eau alors que le niveau de la nappe côtière est bas, celle-ci risque d'être contaminée par du sel, du fait de l'irruption de l'eau de mer (biseau salé). Dans les zones côtières, la frontière entre l'aquifère et la mer n'est en effet pas étanche. Afin de pouvoir répondre à la demande en eau potable indépendamment des variations climatiques saisonnières, Veolia Environnement propose de recharger ces nappes à partir d'eaux usées traitées, comme à Adelaïde, Berlin ou Barcelone.



Le projet ASTR : recharge d'aquifère, transfert et récupération

Le principe de l'ASTR consiste à injecter de l'eau dans le sol à un endroit et à la récupérer en aval, après "filtration" souterraine. Grâce aux propriétés biologiques et physico-chimiques du sol, cette filtration naturelle améliore sensiblement la qualité de l'eau. L'eau peut ainsi être stockée puis restituée lors des périodes de forte demande tout en contribuant à lutter contre l'assèchement des nappes souterraines.



Une des trois usines du chantier Western Corridor en Australie : le troisième plus grand projet de recyclage d'eau au monde.

Énergie et plastique sans pétrole

Faire travailler plus de bactéries pour approvisionner des industriels de la chimie verte en polymères biodégradables : c'est ce à quoi Veolia Environnement œuvre en Suède. En transformant une partie des eaux usées en bioplastique, les chercheurs amorcent la mutation des stations d'épuration en bioraffineries.

C'est avec la filiale suédoise, AnoxKaldnes, de Veolia Water Solutions & Technologies, à Lund, que les chercheurs de Veolia Environnement fabriquent du bioplastique à partir des eaux usées. « Certaines bactéries utilisées pour dégrader les eaux usées

“Faire travailler plus de bactéries pour approvisionner des industriels de la chimie verte en polymères biodégradables”

ont pour propriété de manger le carbone et de l'accumuler sous forme de polymère » expliquent Stéphane Deléris, Chef du Pôle de la filière biologique, et Thomas Wallander, fondateur de AnoxKaldnes. « Pour optimiser leur production, nous fournissons les conditions les plus favorables à leur développement puis nous récupérons leurs réserves : les cellules sont déshydratées puis cassées et le polymère extrait avec un solvant vert. Il est possible d'atteindre différents degrés de pureté. Nous sommes en train d'identifier les niveaux de qualité à atteindre en fonction des différents types d'application industrielle. »

Vers un pilote industriel

Pour l'heure, la production de bioplastiques de Veolia Environnement à partir d'un pilote d'1 m³ ne dépasse pas quelques kilos par jour. Un pilote va être installé dans une station d'épuration pour passer à une échelle supérieure de production. Il est prévu de réaliser un prototype à l'horizon 2011. Quoi qu'il en soit, même à l'échelle industrielle, la production de bioplastiques à partir des eaux usées restera modeste : une station d'épuration d'une ville de 100 000 habitants devrait pouvoir fabriquer environ 500 tonnes de biopolymère par an. « Compte tenu de ce volume, notre objectif est de trouver des débouchés chez des entreprises de la bioplasturgie qui puissent intégrer nos composés dans leurs mélanges » souligne Stéphane Deléris. ■

MÉTHOLOGIE

Des outils de la microbiologie pour augmenter les cadences

Les méthodes de détection et d'observation des micro-organismes présents dans les eaux usées s'affinent. Pour mieux comprendre l'activité des bactéries à l'oeuvre dans les réacteurs biologiques et l'optimiser, les chercheurs analysent non seulement leur ADN mais aussi leur ARN (lire plus loin) avec des méthodes PCR (réaction de polymérisation en chaîne).

L'ADN (acide désoxyribonucléique) est le matériel où sont stockés l'information génétique et l'ensemble des caractères héréditaires d'une cellule. Depuis plus de 10 ans, Veolia Environnement a adapté à l'analyse environnementale une méthode de biologie moléculaire, la technique PCR, pour détecter la présence de micro-organismes nocifs pour la santé (bactéries, virus, parasites) dans les milieux et les quantifier (qPCR), à partir de leur signature génétique.

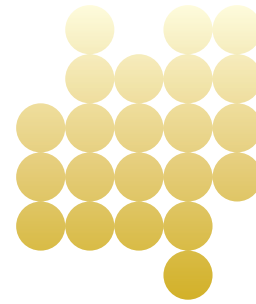
Tire-au-flanc s'abstenir

La technique PCR permet de copier en grand nombre une séquence d'ADN, c'est-à-dire d'amplifier très rapidement le matériel génétique de micro-organismes jusqu'à ce

qu'il soit détectable. Le Centre d'analyses environnementales a créé un protocole de détection reproductible. Mais la présence d'une bactérie dans un milieu n'implique pas pour autant qu'elle soit active. Il est donc difficile d'établir sur cette base une corrélation entre la détection d'une bactérie méthanogène dans le réacteur biologique et les processus biochimiques qui s'y opèrent.

Les chercheurs ont donc mis au point une méthode PCR pour analyser l'ARN des bactéries (qrPCR). L'ARN (acide ribonucléique) est produit quand un gène s'exprime. Il renseigne donc sur l'activité des bactéries. Il est ainsi possible d'observer l'effet de telle ou telle action prise pour piloter leur travail. ■

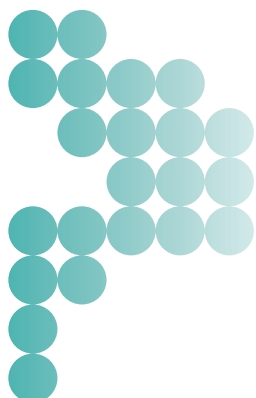
“ Les chercheurs ont mis au point une méthode pour analyser l'activité des bactéries ”



Organica

Le génie biologique au service de l'assainissement.

Mis en œuvre en Hongrie par Organica, dont VWS a acquis 75% en 2007, le procédé FBR™ consiste à créer un écosystème stable favorable à l'épuration des eaux usées. Il associe des traitements de boues activées et des bassins d'aération et de décantation qui accueillent une culture de plantes spécialement sélectionnées pour leur capacité à se développer dans les eaux usées grâce à leur système racinaire. Elles forment un habitat pour différents organismes - bactéries, protozoaires, escargots, coquillages et poissons - qui dégradent les contaminants organiques.



TECHNOLOGIES

Le génie biologique au service de l'optimum énergétique

Produire le plus possible de biogaz dans les digesteurs où sont décomposées les boues d'épuration, réduire la consommation d'énergie nécessaire au traitement des résidus liquides de la digestion... Au Danemark, Veolia Environnement met au point des procédés biologiques pour atteindre l'objectif d'autosuffisance énergétique des stations d'épuration des eaux usées.

Boostage de la lyse thermique

Le procédé de lyse thermique consiste à solubiliser les boues en les chauffant à 165 °C par injection de vapeur. Plus solubles, les boues sont ainsi plus digestes

pour les bactéries qui les dégradent dans les digesteurs (ou méthaniseurs). La production de méthane s'en trouve augmentée.

Veolia Environnement commercialise un tel procédé, Biothélylys®, qui est utilisé en prétraitement des boues, avant leur entrée dans les digesteurs. Les chercheurs ont réussi à l'améliorer pour augmenter la production de méthane et diminuer sa consommation énergétique. Ils ont mis

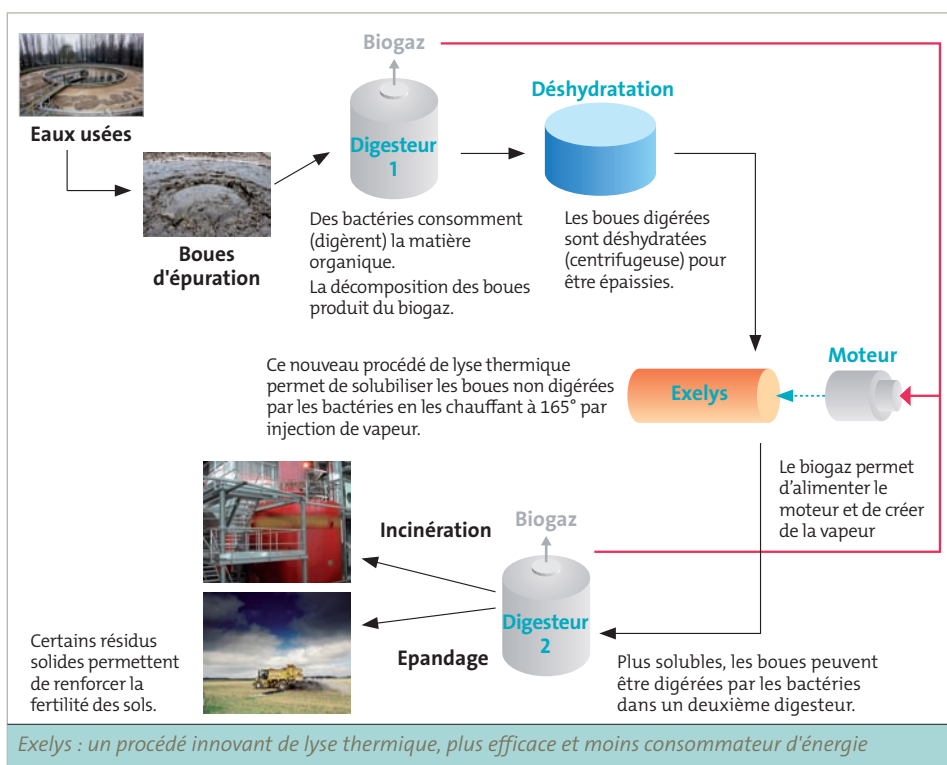
“Le génie biologique a fait baisser la consommation d'énergie de 60%”

au point le procédé Exelys®, qui permet d'augmenter le taux de concentration de la matière et donc de réduire les flux à chauffer. En le faisant fonctionner en

boucle avec un digesteur, ou en le plaçant entre deux digesteurs (Cf schéma ci-contre), il est possible de valoriser au maximum le potentiel énergétique des boues. Un prototype industriel est en phase de démarrage dans les environs de Copenhague.

Une bactérie ascétique

Lorsqu'on met 100 kg de boue d'épuration (matière sèche) dans un digesteur, 40 % se transforme en biogaz. Les 60 % restant se présentent sous forme solide et liquide. La fraction solide est incinérée ou, si sa composition le permet, utilisée comme fertilisant dans les champs. La fraction liquide (lixiviat), très chargée en azote, est réintroduite dans le circuit d'épuration. Cela représente une surcharge de 20 à 30 % pour la station et son principal poste énergétique – plus de la moitié de sa consommation d'énergie est due au traitement de l'azote par aération. Les chercheurs de Veolia Environnement ont conçu un procédé, ANITA™ Mox, pour traiter les effluents fortement chargés en azote de façon plus efficace et plus économique. Ils utilisent une bactérie qui a pour particularité d'accomplir le travail de nitrification (transformation de l'ammoniac en azote gazeux) sans consommer de carbone et en réclamant 40 % d'oxygène en moins que dans le processus classique de nitrification – qui recourt à deux types de bactéries. La consommation d'énergie en est diminuée de 60 %. ■



3 QUESTIONS À...

Arnaud de la Tour du Pin

« Pour atteindre l'autonomie énergétique des stations d'épuration, nous travaillons à partir de nos propres technologies. »

Quelles sont les attentes des collectivités en matière d'autonomie énergétique des stations d'épuration des eaux usées ?

« Les besoins des collectivités diffèrent selon les pays et la politique énergétique que ceux-ci ont menés jusqu'alors. Néanmoins, sous la pression des autorités, comme au Royaume-Uni, en Allemagne et dans les pays d'Europe du Nord, la réduction des consommations énergétiques et la production d'énergie, en liaison avec l'objectif de réduction de l'empreinte carbone, deviennent des sujets de préoccupation. Les thèmes abordés durant les conférences organisées par l'International Water Association en témoignent. En premier lieu, les collectivités se préoccupent bien entendu de trouver un exutoire fiable et économique aux boues. En fonction des politiques incitatives, elles s'intéressent aussi de près à leur valorisation énergétique. Pour bien segmenter nos offres, nous sommes en train de mener une étude de marché sous forme d'interviews auprès des différentes parties prenantes (collectivités, consultants, agences de bassin...). »

Que faites-vous pour réduire les consommations d'énergie des stations d'épuration ?

« Il faut savoir que dans les usines de boues activées, environ 54 % de l'énergie consommée est destinée à l'aération. Pour consommer moins, nous suivons trois voies. La première consiste à améliorer la conception des usines - les doter d'équipements moins énergivores, améliorer les prétraitements... La seconde consiste à mettre en place des technologies et des systèmes de régulation et de conduite avancée. Par exemple, nous avons développé un système de régulation de l'aération pour les procédés à boues activées, Amonit®, qui utilise des capteurs récents d'analyses en ligne pour les paramètres NO₃ (ammoniac) et NH₄ (nitrates). En agissant de la sorte, on peut réduire la consommation

énergétique de l'ordre de 20 %. Enfin, nous développons des technologies et des lignes de traitement spécifiques en vue de mieux valoriser en énergie la matière organique contenue dans les boues. (Cf article Technologies p.12) »

Est-ce réaliste de viser l'autosuffisance énergétique ?

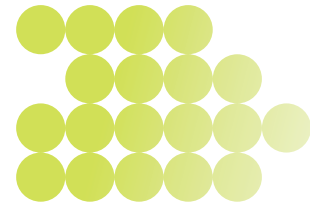
« Aujourd'hui, certaines des usines que Veolia Environnement exploite, en particulier en Europe de l'Est, atteignent 75 % d'autosuffisance. C'est le cas de la station d'épuration de Prague. D'autres, notamment en Allemagne, en utilisant des apports « verts » extérieurs – biogaz produit par un centre de stockage de déchets à proximité – arrivent à revendre de l'électricité au réseau. C'est le cas à Budapest ou Braunschweig. En développant des technologies spécifiques ayant pour objectif d'optimiser la production de biogaz, nous devons pouvoir atteindre cette autosuffisance. Les procédés Exelys® – lyse thermique des boues en continu – et DLD – Digestion Lyse Digestion – permettront d'atteindre cet objectif et aussi de réduire l'empreinte carbone des usines. » ■

“ Nos technologies permettront à nos stations d'épuration d'être autosuffisantes en énergie ”



Station d'épuration de Budapest

« Le niveau d'autosuffisance en énergie de notre station d'épuration de Budapest est aujourd'hui de 90%. Les développements et optimisations en cours visent un objectif de 100% d'autonomie énergétique d'ici 2 à 5 ans » Gyorgy Palko, directeur général de Veolia Eau pour la zone Hongrie-pays Balkans.



Arnaud de la Tour du Pin,
Directeur Marketing
Municipal Veolia
Water Solutions et
Technologies

arnaud.delatourdupin@veoliawater.com

Ce cahier des chroniques scientifiques est le complément de la vidéo réalisée sur le thème de la station d'épuration du futur.

Découvrez la vidéo et le cahier des Chroniques scientifique sur l'intranet de Veolia Environnement et sur Internet : www.chroniquesscientifiques.veolia.com

Crédits photos : photothèque VEOLIA - Christophe Majani d'Inguibert, Jean Philippe Mesguen, Salah Benacer, Alexis Duclos, WatchFrog, Veolia Voda.

Remerciements à :

Notre expert Emmanuel Trouvé, ainsi qu'à Arnaud de la Tour du Pin pour leur collaboration et leur disponibilité.

Directrice de la publication et de la rédaction :

Fanny Demulier

Responsable éditorial : Xavier Dorveaux

Rédaction : Monik Malissard

Conception : Dream On

Contact : Direction de la Communication

19 rue La Pérouse

75016 Paris - France

Tél. : +33 (0)1 71 75 10 88

Fax : +33 (0)1 71 75 05 92

Mail : fanny.demulier@veolia.com