

L'étanchéité de nos égouts

Les réseaux d'égouts urbains sont constamment soumis à des contraintes liées à la circulation automobile et aux mouvements du sol. Se surajoutant à la fatigue naturelle des matériaux, elles causent des dommages coûteux à l'infrastructure souterraine provoquant des exfiltrations d'eaux usées et des infiltrations d'eaux souterraines. L'EAWAG est actuellement en train de développer de nouvelles méthodes permettant de quantifier ces processus indésirables à l'aide de traceurs naturels et artificiels. Les informations obtenues sur l'étendue des infiltrations et exfiltrations doivent permettre d'établir un plan de réhabilitation plus efficace des égouts urbains.

Même si les égouts urbains ont une durée de vie considérable, les détériorations qui se produisent avec le temps font que le système n'est plus étanche. Si des fissures se produisent au niveau des nappes phréatiques, il peut y avoir infiltration d'eaux souterraines propres. Si ces défauts se trouvent au-dessus du toit des nappes, les eaux usées s'infiltrent dans le sol environnant.

L'exfiltration d'eaux usées en provenance d'égouts non étanches est considérée comme une menace non négligeable pour l'homme et l'environnement car elle peut remettre directement en cause la qualité de l'eau potable [1]. L'infiltration d'eaux souterraines pose également un problème étant donné qu'elle induit une dilution des eaux d'égout et peut inutilement surcharger les stations d'épuration. Ces deux problèmes ne sont en général remarqués que quand ils prennent une dimension considérable.

C'est principalement dû au fait que les égouts se trouvent en sous-sol et que les processus sont «invisibles». De plus, les méthodes de détection traditionnelles sont d'application difficile et donnent des résultats assez peu fiables (voir encadré).

C'est pour toutes ces raisons que l'EAWAG élabore en ce moment de nouvelles méthodes de quantification des infiltrations et exfiltrations. Ces recherches sont menées dans le cadre du projet européen APUSS («Assessment of the Performance of Urban Sewer Systems») lancé début 2001 et consacré à l'évaluation de la capacité de fonctionnement des réseaux d'égouts urbains sur la base des processus clés d'infiltration et d'exfiltration. Les méthodes développées dans ce cadre doivent permettre à l'avenir d'élaborer des concepts plus efficaces pour la réhabilitation des réseaux d'égouts urbains.

Les nouvelles méthodes sont basées sur l'utilisation de traceurs naturels et artificiels (voir encadré p. 30). A partir de l'augmentation ou de la diminution de la concentration de traceur, il est possible de calculer la quantité d'eau qui pénètre dans le réseau ou qui s'en échappe.

Mesure des exfiltrations à l'aide de traceurs artificiels

La méthode de mesure des exfiltrations fait appel à des traceurs artificiels (voir encadré p. 30) introduits dans les eaux d'égout. Si le réseau d'égouts présente des fuites, une partie du traceur s'échappe du système en

même temps que les eaux usées qui s'infiltrent dans le sol. Cette perte peut être directement mise en relation avec l'importance de l'exfiltration, c'est-à-dire que si 10% des eaux marquées disparaissent, on mesure une perte de 10% du marqueur [2]. Cette méthode est essentiellement basée sur les principes suivants (Fig. 1):

- Une dose définie de traceur est introduite à deux points du système: au début (signal indicateur) et à la fin (signal de référence) du tronçon étudié. Le signal indicateur se trouve réduit sous l'effet des exfiltrations éventuelles qui se produisent le long du tronçon concerné et révèle donc si des fuites se sont produites ou non. Le signal de

Méthodes de mesure traditionnelles

La quantité d'eau d'égout qui s'exfiltre est en général mesurée à l'aide d'essais d'étanchéité effectués avec de l'eau ou de l'air [3]. En plus de leur prix élevé, ces tests présentent l'inconvénient de ne donner d'informations que sur l'exfiltration qui se produit à un endroit donné et qui ne peut être extrapolée à l'ensemble du réseau. Les méthodes classiques ne permettent donc pas de déterminer la quantité d'eau polluée qui s'échappe du système donnée qui serait pourtant indispensable à une bonne planification de la réhabilitation du réseau.

Pour déterminer l'importance des infiltrations d'eau de nappe, on s'appuie traditionnellement sur de simples mesures de débit d'écoulement [4]. On considère que le débit minimal mesuré, en général dans la nuit du dimanche au lundi, est uniquement dû à ce que l'on appelle les eaux claires parasites et que la part d'eaux usées est négligeable. Cette supposition est cependant de moins en moins justifiée à l'heure actuelle. En effet, de plus en plus de ménages utilisent les appareils électroménagers consommateurs d'eau la nuit pour réduire leurs coûts de fonctionnement. De plus, les réseaux d'assainissement sont de plus en plus étendus étant donné la croissance incessante des agglomérations. Certains tronçons véhiculent ainsi des effluents à toute heure du jour et de la nuit car les ondes d'écoulement d'eaux usées proviennent de secteurs plus ou moins éloignés et se succèdent donc avec différents temps de décalage.

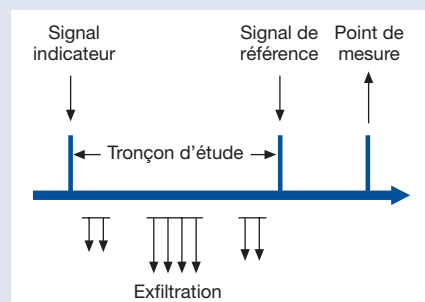


Fig. 1: Conception schématique d'un essai de quantification des exfiltrations.

Traceurs naturels et traceurs artificiels

Les *traceurs artificiels* comme p. ex. certains colorants simples ou fluorescents, certaines particules, le chlore sous forme de chlorure de sodium ou le lithium sous forme de chlorure de lithium, sont des substances que l'on verse dans l'eau à un endroit donné pour en mesurer la présence un peu plus loin. Leurs caractéristiques:

- n'être naturellement présents qu'en très faible quantité,
- être détectables à très faible concentration,
- ne pas se lier à d'autres substances,
- ne pas être toxiques,
- être facilement solubles dans l'eau et bien s'y mélanger,
- être bon marché.

On utilise comme *traceurs naturels* des caractéristiques spécifiques des eaux potables, souterraines ou usées, comme p. ex. leur composition isotopique, qui permettent de les distinguer les unes des autres.

référence n'est pas influencé par les exfiltrations, il sert donc de référence et permet de quantifier la baisse du signal indicateur. Il est très important que le traceur se mélange parfaitement aux eaux d'égout.

■ Si le traceur est introduit par à-coups dans le système, il peut n'être fait usage que d'une seule substance car le passage du traceur au point de mesure se traduit par une courbe à impulsions (Fig. 2). Les mesures sont faites directement dans le flux d'eaux usées à l'aide de sondes «en-ligne» qui donnent une très bonne résolution temporelle. Grâce à la nature très dynamique du signal, il est possible dans une seule mesure de faire la différence entre l'impulsion indicatrice, les impulsions de référence et le bruit de fond naturel. Si l'introduction du traceur se fait de façon continue, deux substances différentes sont nécessaires, ce qui nécessite une mesure double.

■ Les introductions de traceur aux points de référence et d'indication sont effectuées avec un temps de décalage de manière à ce que les deux signaux arrivent simultanément au point de mesure produisant une superposition des pics mesurés (Fig. 2). En procédant de cette manière, on est assuré du fait que les sources d'erreur (liées p. ex. à des changements de composition des eaux usées ou à des défections de l'appareil de mesure) sont les mêmes pour les deux signaux et que donc elles s'éliminent.

■ Etant donné que la quantité de traceur injectée au point d'indication est connue, on peut estimer à partir de la surface sous le signal de référence quelle serait la surface sous le signal indicateur en cas d'absence de fuites. Si on compare le signal indica-

teur mesuré au signal indicateur calculé, on peut conclure à l'étanchéité ou au manque d'étanchéité du secteur contrôlé.

NaCl comme traceur d'exfiltration

La figure 2 illustre une expérimentation typique réalisée avec du NaCl comme traceur salin. Dans cet essai, des sondes à conductivité ont été utilisées pour mesurer de manière indirecte la concentration en NaCl de l'eau. La longueur du tronçon étudié est de 285 m, le débit moyen par temps sec est de 25 l/s, la concentration moyenne naturelle de fond correspond à une conductivité de 0,8 mS/cm; en général, il est plutôt conseillé d'étudier de grandes distances (jusqu'à plusieurs kilomètres), ce qui permet de détecter un maximum de fuites potentielles. Avant de démarrer l'expérience, il est important d'observer l'écoulement et la conductivité des eaux d'égout pendant deux jours. Ceci permet de calculer la quantité de NaCl à verser dans le système aux deux points d'injection. Dans l'essai présenté ici, 1,9 kg de NaCl ont été versés au point d'indication et 3 fois 0,4 kg de NaCl env. dix minutes plus tard au point de référence. Le dépouillement des résultats obtenus a révélé que le tronçon choisi pour l'essai ne présentait pas de fuites.

Mesure d'infiltrations à l'aide de traceurs naturels

Les traceurs artificiels ne conviennent pas à la quantification des infiltrations. Il est pratiquement impossible d'obtenir un marquage homogène dans toute une nappe phréatique et une telle action ne serait de toute façon pas compatible avec les préoccupations de protection de l'environnement. Ce sont donc les particularités locales naturelles de l'eau potable, de l'eau souterraine et de l'eau d'égout qui sont utilisées comme traceurs de mélange ou de dilution (voir encadré).

Il n'est cependant qu'exceptionnellement possible de trouver des traceurs naturels directs étant donné que les eaux usées véhiculent une multitude de substances qui composent leur charge polluante. Les concentrations de ces substances varient considérablement au cours d'une seule journée et peuvent facilement masquer le signal naturel pris comme traceur. La composition isotopique de l'eau constitue par contre un bon système de traçage. Elle dépend notamment de l'altitude topographique à laquelle les aquifères ou les eaux de surface se rechargent par l'apport de précipitations. Cette méthode peut être employée dans des cas particuliers, c'est-à-

dire p. ex. quand une commune tire son eau potable d'un bassin hydrologique situé à une altitude supérieure ou inférieure à la sienne. On observe alors des différences très nettes entre les compositions isotopiques de l'eau potable, de l'eau souterraine et de l'eau d'égout qui permettent une bonne détermination de la part d'eaux claires parasites infiltrées.

Pour un domaine d'application plus général, une autre méthode semble bien plus prometteuse. Elle permet en effet de déterminer la part d'eau infiltrée par une analyse combinée de l'hydrogramme et de l'évolution dans le temps des concentrations de polluants. La demande chimique en oxygène (DCO) constitue p. ex. un bon paramètre descriptif de la charge en polluants. Elle indique combien il faut d'oxygène pour obtenir une oxydation totale des polluants organiques et inorganiques contenus dans les eaux usées. Les nouvelles sondes en ligne permettent une détermination directe des concentrations d'équivalents DCO à partir de l'absorption de la lumière dans le domaine ultraviolet (Fig. 3). Elles indiquent les valeurs recherchées avec une très bonne résolution temporelle et livrent donc les bases d'une analyse différenciée des données et des erreurs.

Les polluants en tant que traceurs d'infiltration

La figure 3 montre les résultats d'une campagne de mesures effectuée pendant l'hiver 2002/2003 dans le flux entrant d'une station d'épuration intercommunale traitant les

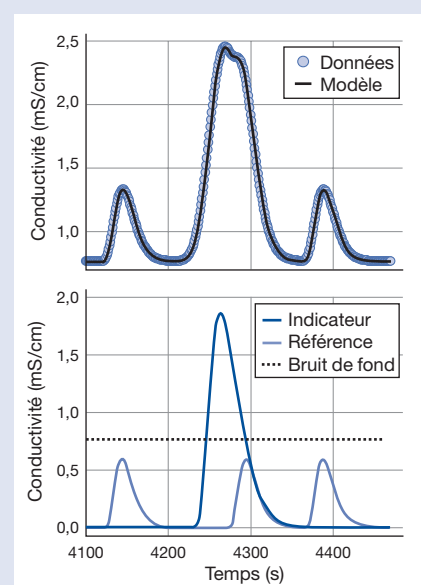


Fig. 2: Résultats d'un essai de quantification des exfiltrations. Du NaCl est utilisé comme traceur artificiel. En haut: mesure et simulation des signaux émis par le traceur. En bas: découpage du signal mesuré en signal indicateur et signal de référence après soustraction du bruit de fond naturel.



Essai «Exfiltrations»: apport d'une solution de NaCl comme signal de référence.

eaux usées d'environ 23 000 habitants raccordés. Les concentrations d'équivalents DCO et la quantité d'effluent ont été enregistrées avec une résolution temporelle de 3 minutes. L'exploitation des données a été effectuée à l'aide d'un modèle de mélange utilisant les deux types de valeurs. Pour faire fonctionner le modèle, il a été nécessaire de faire un certain nombre de suppositions sur la base d'informations externes: La DCO des eaux claires parasites infiltrées est considérée comme négligeable. Le flux d'eau infiltrée est subdivisé en une composante fixe correspondant à l'écoulement de base et une composante variable correspondant à l'écoulement transitoire qui diminue de façon exponentielle avec le temps. Dans le cas le plus simple présenté ici, on a supposé que la DCO moyenne de la part d'eaux usées était à peu près constante. La variation de la DCO dans les eaux d'égout étudiées est le résultat de l'évolution dans la journée de la quantité des eaux usées rejetées dans les égouts (rythme de 24 h) et des entrées d'eaux claires qui ne varient que très lentement (baisse exponentielle du flux après des fortes pluies). Par contre le modèle ne tient pas compte d'épisodes pluvieux de courte durée comme celui du 26.12.2002 (augmentation subite du flux d'eaux usées sur le coup de midi).

Les méthodes sont-elles adaptées à la pratique?

Pour permettre une application pratique des méthodes de mesure des exfiltrations au contrôle de divers réseaux d'égouts, nous travaillons actuellement à l'élaboration d'un guide pratique méthodologique. Celui-ci doit permettre de choisir la meilleure combinaison de traceurs, techniques de mesure et protocoles de dosage pour réaliser dans la pratique les meilleurs essais possibles. Les résultats de notre expérimentation de terrain indiquent que la limite de détection des exfiltrations se situe actuellement aux alentours de 10%. Etant donné qu'il faut en général s'attendre à des pertes d'eaux d'égouts inférieures à 5%, notre méthode doit cependant atteindre une plus grande précision avant de trouver une application pratique.

L'avantage pour le praticien de notre méthode de mesure des infiltrations par rapport aux méthodes classiques, dans le sens d'un gain d'informations, dépend avant tout de la justesse des suppositions faites lors de la modélisation. D'autre part, pour atteindre l'exactitude souhaitée de 10 à 20%, il est nécessaire de disposer de mesures précises des débits et des concentrations de polluants. Une comparaison de nos résultats avec ceux de la méthode isotopique nous permettra de parfaire la validation de notre approche.

Dans le cadre du projet APUSS, les deux méthodes sont actuellement appliquées à titre expérimental, et ce dans divers pays au diagnostic de différents types de réseaux d'assainissement.

Infiltrations et exfiltrations comme instruments de «benchmarking»

Si les paramètres d'infiltration et d'exfiltration s'établissaient en tant qu'indicateurs

au niveau national ou international, ils permettraient un «benchmarking» des réseaux d'assainissement. Il est actuellement très difficile d'effectuer une évaluation comparée de l'état structurel de différents types de réseaux d'égouts. Premièrement parce qu'il faut des années pour établir un diagnostic à l'aide de la méthode habituelle qui consiste en l'inspection d'égout par caméra mobile (télévisions en circuit fermé – CCTV). Deuxièmement parce que la classification des dégradations constatées varie en fonction de la technique utilisée et de la personne qui effectue le contrôle, ce qui rend les comparaisons délicates. Il n'est donc possible de procéder à une comparaison objective de différents réseaux d'égouts ou de différents modes de gestion que si l'on dispose de méthodes livrant des résultats suffisamment reproductibles. L'avenir dira si notre méthode a pu atteindre une exactitude suffisante pour lui permettre de répondre à ces préoccupations.



Jörg Rieckermann, ingénieur, se consacre dans le cadre de la thèse qu'il effectue au sein de la division de «Génie de l'environnement» au développement d'une méthode de mesure des exfiltrations à l'aide de traceurs artificiels.

Coauteurs: Oliver Kracht, Willi Gujer

- [1] Bishop P.K., Misstear B.D., White M., Harding N.J. (1998): Impacts of sewers on groundwater quality. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management* 12, 216–223.
- [2] Rieckermann J., Gujer W. (2002): Quantifying exfiltration from leaky sewers with artificial tracers. *Proceedings of the International Conference on «Sewer Operation and Maintenance 2002»*. Bradford, UK.
- [3] Stein D. (1999): *Instandhaltung von Kanalisationen*. Ernst & Sohn, Berlin, 948 S.
- [4] Schweizer Bundesamt für Umweltschutz (1984): *Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisationen und Kläranlagen*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern, 51 S.

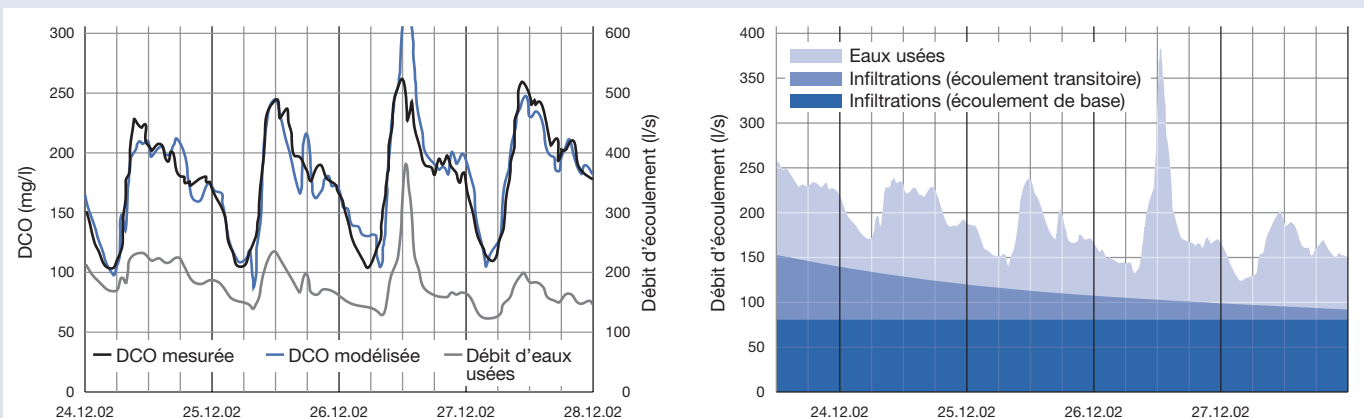


Fig. 3: Résultats d'une campagne de mesures destinée à la quantification des infiltrations. Le traceur naturel utilisé est la demande chimique en oxygène (DCO).

A gauche: comparaison des mesures de DCO avec les valeurs livrées par le modèle. A droite: identification de diverses proportions d'eaux claires parasites. Dans la partie de canalisation étudiée, les eaux claires parasites représentent en moyenne 60% de l'écoulement des eaux d'égout.