

Thème de recherche Netwater

Les recherches sur les réseaux d'eau

Les réseaux d'eau potable et d'eaux usées mobilisent une communauté scientifique mondiale assez réduite au regard des enjeux de société correspondants. En effet, la qualité de l'eau à la sortie de nos robinets touche de près la santé de milliers, voire de millions de personnes. Quant au renouvellement des réseaux, il représente d'énormes enjeux économiques. Enfin, dans un contexte de tension sur la ressource, maîtriser les fuites d'eau est une priorité tant sur le plan économique qu'environnemental. Au Cemagref à Bordeaux, une dizaine de scientifiques se consacre aujourd'hui aux performances techniques des réseaux d'eau au sein du thème de recherche Netwater.

Comment vient l'eau jusqu'au robinet ?

Un réseau d'eau c'est un ensemble de tuyaux en fonte, acier, béton, PVC, polyéthylène..., enterrés la plupart du temps entre 80 cm et un mètre cinquante de profondeur et qui assurent le transport et la distribution de l'eau.

En ville, les tuyaux suivent les rues et forment des mailles. Dans les grandes agglomérations, certaines canalisations peuvent dépasser un mètre de diamètre mais généralement elles ont un diamètre beaucoup plus faible : un tuyau de 20 cm de diamètre peut alimenter 2 à 3 000 habitants.

À l'amont du réseau, il faut des ouvrages qui permettent de pomper l'eau soit dans des rivières ou des lacs soit dans des nappes profondes. À l'aval, les branchements particuliers munis de compteurs sont piqués sur les canalisations et amènent l'eau dans les logements.

La seule partie visible de tous ces ouvrages, ce sont souvent les châteaux d'eau qui stockent l'eau pour réguler les pointes de consommation et assurer quelques heures de distribution en cas d'incident sur la ressource.



Réseaux d'eau potable et d'eaux usées, les citoyens concernés au premier plan

Faire couler de l'eau pour se nettoyer les mains, laver la salade ou la vaisselle, tirer une chasse d'eau, autant de gestes quotidiens, familiers et banals. Mais savons-nous d'où vient cette eau, comment elle est acheminée et où elle va ? Qui contrôle la propreté de l'eau à la sortie du robinet ? Comment et qui s'assure qu'elle nous parvienne en quantité suffisante pour que nous n'ayons pas le sentiment de "manquer d'eau" ? Pourquoi soudain, les quelques fois où cela se produit, n'y a-t-il plus d'eau au robinet, pour une durée parfois indéterminée ? D'où vient la "panne" ?

En France, 800 000 kilomètres de canalisations d'eau potable, essentiellement posées au XX^e siècle, constituent un réseau souterrain invisible dans la plupart des cas, et dont le "bon dimensionnement" et le "bon état" conditionnent en réalité le "bon service" aux usagers que nous sommes tous.

C'est aux aspects techniques du

vieillessement et du fonctionnement de ce réseau que se consacrent les équipes scientifiques du thème de recherche "Netwater" depuis plus de vingt ans. Les recherches animées par Bernard Brémond à Bordeaux sont complétées par des études sur les aspects économiques et sociaux au sein du thème de recherche "Usages".

De multiples enjeux scientifiques

La mise en place et le développement d'un réseau d'eau soulevaient il y a une vingtaine d'années une multitude de questions relatives à son dimensionnement, à son évolution en fonction de la démographie urbaine, à la hausse ou à la baisse, au matériau à choisir... Il fallait connaître l'hydraulique dans un système inaccessible directement. Les questions se sont par la suite également portées sur le traitement et la qualité de l'eau, les quantités de

chllore pour maintenir la potabilité tout en maîtrisant le goût chloré, sa dynamique. L'urbanisme des cités a considérablement évolué et le risque d'endommagement du réseau a augmenté avec la progression du trafic en surface, des chantiers sur la voie publique, etc., sans parler de son vieillissement global. Comment connaître ces risques ?

Une question aussi triviale que "où passent les fameux tuyaux ?" ne trouve pas toujours de réponse en l'absence de plans fiables du réseau. L'apparition des SIG a permis de progresser en la matière, toutefois, cette

Thème de recherche Netwater

Les recherches sur les réseaux d'eau



D. Gilbert

Réhabilitation d'un château d'eau avant et après.
Vue de la cuve et des conduites d'arrivée-départ

Surveiller la qualité de l'eau

■ **Marco Propato, chercheur étranger, unité Réseaux, épuration et qualité des eaux, Bordeaux**

Après les contaminations accidentelles dans les systèmes de distribution d'eau potable, les services sanitaires de l'État (DDASS) et les services de distribution de l'eau se préoccupent également depuis 2001 des contaminations intentionnelles.

Si les contaminations d'intensité chronique et basse sont détectées et maîtrisées aujourd'hui par le suivi de la qualité de l'eau, ce suivi devient insuffisant lors d'un brusque changement de qualité pouvant mettre en danger les consommateurs.

Les innovations en matière de capteurs de contrôle continu et de réseaux de transmission vont permettre de détecter en temps réel les contaminations. Dans le cadre de recherches européennes, nous étudions et développons dans l'unité des outils de conception de systèmes de surveillance continue de la qualité de l'eau. Ceci exige la compréhension des processus de réaction et de transport des contaminants ainsi que l'évaluation du danger pour les consommateurs. Les endroits optimaux où la qualité doit être surveillée sans interruption sont ainsi identifiés.

Le développement des algorithmes de traitement de l'information permettra de déclencher la réponse appropriée pour éliminer (ou atténuer) les risques d'exposition du consommateur.

cartographie est loin d'être simple et inachevée aujourd'hui.

Enfin "les réseaux d'eau" c'est une multitude d'acteurs et de modes de gestion qui vont caractériser le partenariat des équipes de recherche, mais également l'accès aux données, le suivi des ouvrages entre le pompage, le traitement, le stockage, le transport et la distribution de l'eau.

Le Cemagref, une référence aux niveaux européen et international

Les recherches mondiales sur les réseaux d'eau potable et d'eaux usées sont à la fois assez récentes et réduites. Au total, une centaine de scientifiques se distribue essentiellement en Europe et en Amérique du Nord pour des recherches démarrées, comme souvent en matière d'ingénierie, bien après la mise en place des premiers réseaux.

Aujourd'hui, le Cemagref est l'un des instituts de référence dans le domaine des réseaux d'eau potable ou d'eaux usées. Les premières recherches menées fin des années 70 et qui se poursuivent aujourd'hui portaient sur le dimensionnement des ouvrages et en amont sur la modélisation hydraulique

des réseaux. Quelle taille d'installation, pour quel volume d'eau, pour couvrir les besoins des populations ?

Depuis les thèmes ont évolué vers la qualité de l'eau potable, la gestion du patrimoine, et la réduction des fuites... Ceci fait appel à des outils logiciels statistiques, d'optimisation et de modélisation, ainsi qu'à de l'acquisition de données de terrain.

Qualité et sécurité de l'eau potable

À l'image des autoroutes dimensionnées pour les grands départs en vacances, les réseaux d'eau potable sont dimensionnés pour satisfaire les besoins en période de forte consommation, ainsi, les branchements individuels sont utilisés moins de 5% du temps. Au final l'eau stagne et sa qualité se dégrade.

L'ajout d'un désinfectant permet alors de remédier au problème. Son action est cependant limitée dans l'espace et dans le temps. L'enjeu est de définir la bonne dose de chlore et les lieux de son injection pour maintenir en tout point du réseau une concentration conforme à la réglementation et ainsi garantir la potabilité de l'eau. Sont également suspectés au premier plan les polluants qui risquent de contaminer l'eau potable.

Nos partenaires : les collectivités

Le TR Netwater ancre ses travaux sur le territoire des collectivités, commune ou syndicat, qui ont en charge la distribution de l'eau ou l'assainissement.

Les partenaires privilégiés sont donc les collectivités elles-mêmes ou leurs gestionnaires. Les thèmes les plus porteurs sont la surveillance de la qualité de l'eau, la gestion patrimoniale et la maîtrise des pertes. Veolia environnement et la Lyonnaise des Eaux nous confient des recherches soit en finançant directement des thèses, soit sous forme de conventions de recherche pluriannuelles.

La région Aquitaine participe au financement des recherches sur la réduction des pertes d'eau en raison de la pression importante des prélèvements dans les nappes profondes. Des syndicats comme celui des Eaux de l'Île-de-France, des villes comme Oslo nous ont confié l'analyse de leurs données patrimoniales.



Tuyaux entartés et corrodés :
dans le pire des cas, le tuyau peut se boucher.



photos E. Renaud



Les entrées de polluants proviennent souvent de casses accidentelles. Il ne faut pas négliger les actes de malveillance, les plans Vigipirate conduisent à renforcer les niveaux de surveillance. L'enjeu est de détecter au plus vite une pollution dans le réseau et de localiser son origine.

Diverses voies de recherche sont menées à Bordeaux pour améliorer la qualité et la sécurité de l'eau. Il s'agit de modéliser les vitesses des écoulements et les temps de séjour dans des réseaux maillés de grande taille, d'estimer le diamètre des vieux tuyaux encrassés, d'analyser le comportement instantané du consommateur, d'établir des lois de disparition du désinfectant en fonction de nombreux paramètres (pH, température, surface du tuyau, présence de biofilm), et d'acquérir des données de terrain (débit dans les tuyaux enterrés, concentration du désinfectant) pour ajuster les modèles.

Au cours de la dernière décennie, plusieurs thèses en mathématiques appliquées et en sciences de l'ingénieur ont été soutenues à Bordeaux. Elles ont abouti notamment au développement du logiciel Porteau puis à son transfert vers les bureaux d'études. Enfin, l'assistance aux collectivités locales est un autre pôle d'activité des chercheurs.

Gérer un patrimoine qui vieillit

En parallèle, des recherches sur le vieillissement des réseaux ont été lancées. Elles ont débouché sur un premier modèle de casses des tuyaux. Un réseau est constitué de différents tronçons dont il est nécessaire de prévoir les casses pour en décider le renouvellement. Les casses dépendent de divers facteurs : le matériau, fonte grise ou ductile, PVC..., le diamètre, la profondeur du réseau, l'occupation du sol en surface, la nature du sol... Or les scientifiques cherchent à savoir quelle est la probabilité de casses des divers tronçons du réseau, quels sont les tronçons à risques, quels impacts - interruption de service, dommages dus à l'eau -, quand opérer les changements en priorité ?

Le premier modèle mis au point à Bordeaux en 1994 s'appuie sur un réseau dont toutes les casses ont été

"Casses", un logiciel pour prévoir les casses

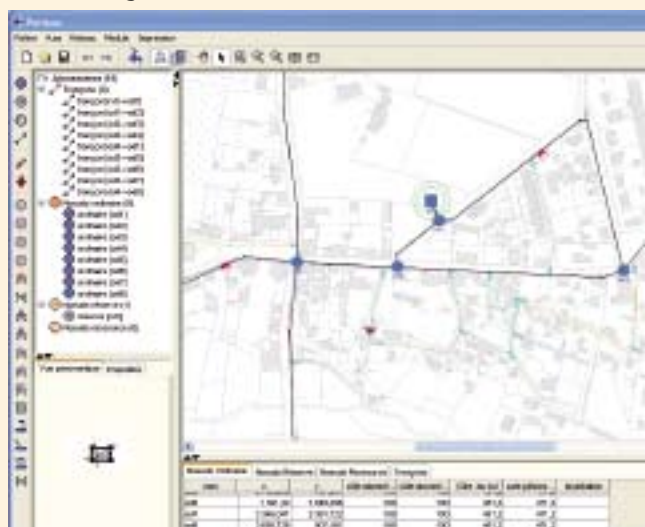
■ Eddy Renaud, unité Réseaux, épuration et qualité des eaux, Bordeaux

Les recherches menées dans le domaine de la prévision des casses des réseaux d'eau potable vont déboucher sur la commercialisation en juillet 2007 du logiciel "Casses". Ce logiciel, dont le développement est soutenu dans le cadre du programme Pré incubation transfert innovation (PITI), est destiné aux collectivités gestionnaires des services d'eau ou à leurs prestataires.

À partir d'une base de données qui caractérisent les tronçons de canalisations et qui répertorient leurs casses, le logiciel estime le nombre moyen de casses que subira chaque tronçon au cours d'une période future choisie.

En couplant ces prévisions aux dommages engendrés par les casses, le gestionnaire peut hiérarchiser les tronçons à problèmes. Le logiciel "Siroco" développé en partenariat avec le bureau d'étude G2C Environnement, valorise ces résultats dans un système d'information géographique.

Le logiciel Porteau



Réseaux d'eau potable, le logiciel PORTEAU pour les collectivités

■ Sandrine Sabatié, unité Réseaux, épuration et qualité des eaux, Bordeaux

Le logiciel Porteau est utilisé aujourd'hui par 80 bureaux d'études et plus de 45 collectivités locales, sans compter les services de l'État et les établissements d'enseignement.

Ce logiciel est issu des recherches que nous menons en modélisation et en gestion des flux dans les réseaux d'eau potable. Il apporte une aide à la décision en matière de dimensionnement et d'administration de nos réseaux d'eau potable, garantissant *in fine* à l'abonné de disposer à son robinet d'eau en quantité et qualité satisfaisantes.

Porteau représente un réseau d'eau au moyen de nœuds correspondant aux points particuliers d'entrées et/ou de sorties d'eau, et de tronçons caractéristiques de tuyaux, et s'appuie sur les données fournies par l'utilisateur pour proposer des éléments de prise de décisions.

Cette application simule le fonctionnement hydraulique d'un réseau maillé sous pression en période de pointe, au travers du module "Opointe", ou sur une durée dont l'unité s'exprime en heures voire en jours, pour le module "Zomayet". Elle permet également d'observer la qualité de l'eau (chlore) en suivant les évolutions spatiales et temporelles d'un soluté préalablement injecté : ce dernier module est appelé "Qualité".

D. Gilbert



Un logiciel pour prévoir le vieillissement

■ Yves Le Gat, unité Réseaux, épuration et qualité des eaux, Bordeaux

GompitZ est un code de calcul en langage C mis au point dans le cadre du projet européen CareS (2002 – 2005), visant à mettre à disposition des gestionnaires de réseaux d'assainissement des outils logiciels intégrés d'aide à la gestion patrimoniale.

Le modèle sur lequel il s'appuie considère le processus de détérioration d'une conduite comme la succession d'un petit nombre d'états discrets qui correspondent à une diminution de la performance structurale, hydraulique, et d'étanchéité, et se traduisent en termes d'urgence et de coût de réhabilitation.

Le modèle prend en compte des facteurs de risque propres à la conduite tels que l'âge, le matériau, le diamètre, la profondeur ou le type d'effluent, ou liés à son environnement (trafic routier ou type de sol encaissant).

Le calage du modèle s'appuie sur les rapports d'inspection télévisuelle d'un échantillon représentatif des conduites, qui sont traduits en classe de détérioration. Un module permet de simuler l'effet de la réhabilitation des conduites les plus dégradées sur l'état global du réseau. GompitZ contribue ainsi à la planification de la réhabilitation des réseaux.

répertoriées, données auxquelles est appliqué un modèle épidémiologique utilisé en médecine.

Le risque de casse tient le rôle du risque d'être malade. Malheureusement, dans la plupart des réseaux on ne connaît pas l'historique complet des casses. Pour prendre en compte cette réalité, le laboratoire a collaboré avec un doctorant de l'université de Trondheim utilisant un modèle stochastique adapté aux historiques tronqués, puis avec une doctorante de l'université de Québec poursuivant dans cette voie.

Les travaux sont poursuivis pour valoriser les trois approches et mettre au point un nouveau modèle de prévision de casses. Une thèse est sur le point aujourd'hui d'être soutenue et un logiciel commercial est en cours de développement.

Limiter les fuites sur le réseau

Plus de 30% de l'eau prélevée dans le milieu naturel à des fins d'alimentation humaine n'est pas consommée. L'origine des pertes est liée en grande partie aux fuites sur les réseaux. Pour 150 litres d'eau consommés, environ 65 litres sont perdus par jour et par habitant. Dans un contexte où les ressources en eau tendent à diminuer en raison de l'augmentation des prélèvements, de la répétition des épisodes de sécheresse, de la modification des régimes hydrologiques et de la dégradation de la qualité des eaux, limiter les pertes en eau est devenu un enjeu majeur. Quant aux fuites d'eaux usées, elles peuvent contaminer le sol et



Poteaux d'incendie équipés d'un capteur de pression. À droite, pour tester la conformité avec la réglementation ou pour mesurer les pertes de charge dans le reste du réseau

générer des nuisances environnementales non négligeables.

Les recherches menées à Bordeaux visent à identifier les raisons de ces fuites : vieillissement des tuyaux, surpression, délai d'intervention trop long, mouvements de sol amplifiés par les sécheresses... Il s'agit ensuite de localiser et de quantifier les pertes en décomposant le réseau en un ou plusieurs niveaux de sous réseaux (sectorisation).

Des modèles permettent de prévoir l'évolution de ces fuites dans l'espace et dans le temps. Pour prévoir l'évolution des débits de fuites d'eau potable, les chercheurs ont recours à des enregistrements nocturnes. Les mesures sont conduites à différentes échelles en ayant recours à des indicateurs pour lesquels des valeurs cibles représentatives d'un bon fonctionnement du réseau sont recherchées. Enfin, pour diminuer les débits de fuites, des recherches sont conduites sur les pressions optimales dans les réseaux. ■

Armoire de mesure en continu du chlore libre déplaçable en fonction des besoins



Du plan du gestionnaire à la modélisation

■ Denis Gilbert, unité Réseaux, épuration et qualité des eaux, Bordeaux

Le bon vieux plan papier sentant l'ammoniaque ou le calque que l'on gratte et re gratte pour les mises à jour, c'est presque fini ! Toutes les collectivités portent sur informatique leurs données de réseau, que ce soit avec un outil de dessin assisté par ordinateur, par exemple Autocad ou par système d'information géographique dit SIG, par exemple Mapinfo ou ArcGIS, classique ou spécialisé dit métier par exemple Editop, Cart@Jour ou Star.

Dans les outils de modélisation que nous développons comme le logiciel Porteau, la saisie des réseaux d'eau se faisait après schématisation et mesure des longueurs sur les plans. Ceci disparaîtra avec la cartographie numérique. Mais la démarche de modélisation n'est pas celle du gestionnaire de réseau. Celui-ci gère un patrimoine de tuyaux et de robinetterie composés de toutes sortes de petites pièces importantes pour les fontainiers, mais qui pour nous sont totalement inutiles aux calculs hydrauliques. Il faut donc une interface entre ces deux modes de stockage de données et c'est le défi que nous souhaitons relever.

Pour en savoir plus : <http://porteur.cemagref.fr/DxfPto/exemple.html>.