

Nouveaux défis de sécurité pour les infrastructures de distribution d'eau potable

Annie Poulin¹

Les questions relatives à la sécurité des approvisionnements en eau potable posent de nouveaux défis aux gestionnaires de ces infrastructures. Des plans d'urgence efficaces doivent être élaborés pour permettre une réponse rapide face à diverses situations mettant en danger la santé publique, par exemple lors de contaminations accidentelles ou intentionnelles de l'eau potable en aval des installations de traitement. Dans ce contexte, le présent document dresse un bref portrait de l'état des connaissances et expose sommairement des travaux de doctorat sur le développement de procédures permettant de mieux planifier les opérations à mettre en œuvre, en réponse aux incidents de contamination.

Des directives opérationnelles visant à mieux protéger la santé publique

Au cours des dernières décennies, plusieurs contaminations accidentelles de l'eau potable se sont produites en raison de déficiences ayant provoqué l'intrusion de contaminants chimiques et biologiques au sein des réseaux de distribution. À Gideon (Missouri), en 1993, le mauvais entretien d'un réservoir de stockage a permis à des oiseaux d'entrer en contact avec l'eau qui y était contenue, causant du même coup la contamination de l'eau par la bactérie *salmonella tryphimurium*. Résultat : six cent cinquante (650) cas de maladie et 7 morts liés à cette contamination.

Des stratégies visant à protéger l'eau destinée à la consommation humaine, depuis la source d'approvisionnement jusqu'aux robinets des consommateurs (Figure 1), ont été élaborées et mises en place depuis quelques années. Qualifiées d'« approches de protection à barrières multiples », ces stratégies prévoient une meilleure protection des sources d'eaux brutes, la mise en place de filières de traitement adéquates ainsi que la surveillance et le maintien de la qualité de l'eau distribuée en réseau (p. ex. monitoring, maintien de concentrations résiduelles de chlore²). C'est dans cet esprit que le Règlement sur la qualité de l'eau potable a été promulgué par le ministère de l'Environnement du Québec en 2001, en remplacement du précédent Règlement sur l'eau potable, en vigueur depuis 1984. Malgré ces efforts, les réseaux de

¹ INRS Eau, Terre et Environnement, 490 de la Couronne, Québec QC G1K 9A9, annie.poulin@ete.inrs.ca

² Concentrations de chlore ou autre agent désinfectant qu'on cherche à maintenir dans l'eau en cours de distribution, afin d'assurer une protection contre les bactéries, virus, protozoaires. Les concentrations doivent cependant demeurer relativement faibles pour éviter de nuire à la santé des consommateurs. Certains auteurs reconnaissent que cette protection demeurera insuffisante dans la majorité des cas d'intrusions de contaminants en réseaux.

distribution demeurent un élément particulièrement vulnérable, considérant leur ampleur³, la proximité entre divers points d'introduction potentielle de contaminants et les usagers, ainsi que le peu de « barrières » assurant une protection vraiment efficace contre les agents externes.

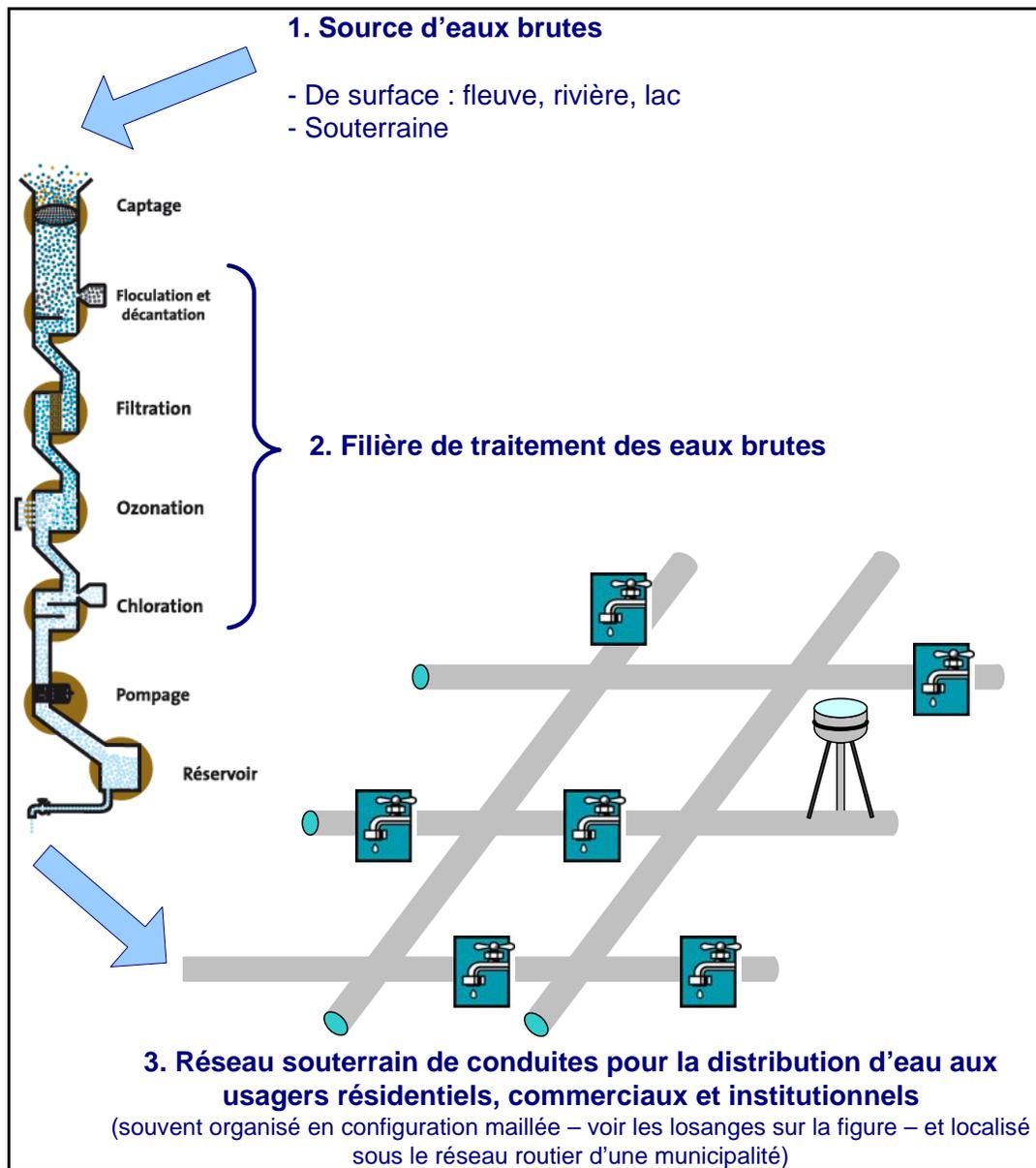


Figure 1 : Illustration des principales composantes des infrastructures d'alimentation en eau potable.

³ À titre indicatif, le réseau de distribution d'eau potable desservant l'ensemble des municipalités de l'île de Montréal comporte, au total, plus de 5240 kilomètres de conduites, équivalant à la distance approximative entre Québec et Paris. Le réseau de la région métropolitaine de Québec (13 municipalités) totalise 2512 km, soit la distance approximative entre Québec et Winnipeg.

Par ailleurs, depuis les événements du 11 septembre 2001, les préoccupations touchant le bioterrorisme, c'est à dire l'introduction intentionnelle de contaminants dans les réseaux de distribution, se sont intensifiées. Émanant d'abord des instances gouvernementales américaines, ces préoccupations ont trouvé échos au sein de la communauté scientifique et des experts en approvisionnements en eau potable. En supplément des précédents constats de vulnérabilité, elles sont à l'origine d'un fort mouvement pour l'amélioration de la sécurité des infrastructures de distribution, ce qui a donné naissance à un domaine de recherche appliquée rapidement devenu très actif.

De nouvelles directives quant à la gestion et l'opération de réseaux d'eau potable dans un contexte de sécurité ont récemment été mises de l'avant, lesquelles ont bien sûr pour objectif premier de protéger la santé publique. Idéalement, on souhaiterait éliminer tout risque, mais de façon plus réaliste, on cherchera plutôt à le réduire au minimum. Ainsi, lors d'un incident de contamination, il importe d'abord et avant tout d'être en mesure de le détecter rapidement. D'autre part, des interventions doivent être entreprises pour une gestion efficace et sécuritaire des conséquences, soit : (1) isoler rapidement le contaminant afin d'empêcher sa propagation en réseau; (2) émettre des avis aux usagers se trouvant au sein du secteur contaminé; et (3) évacuer l'eau contaminée de ce secteur. Des démarches parallèles doivent bien entendu accompagner ces interventions afin de confirmer l'occurrence réelle d'une contamination, d'où l'intérêt d'un processus de réponse progressif. En isolant d'abord un secteur qu'on juge potentiellement contaminé, une enquête peut ensuite être menée au sein d'une zone d'étendue restreinte afin d'identifier la source de contamination et de l'annihiler. Malgré les délais supplémentaires possiblement encourus à ce stade, la progression de la contamination est à tout le moins stoppée.

Développement de technologies et d'outils analytiques

En complément aux précédentes directives, des outils analytiques adaptés doivent être développés pour mieux guider les gestionnaires de services d'eau potable dans la mise en œuvre de stratégies de sécurité adéquates. À ce titre, de nombreux travaux de recherche se sont intéressés à la question de la détection des contaminants introduits en réseaux d'eau potable.

Détection de contaminants en temps réel

Des technologies pour la détection de contaminations ainsi que la transmission et l'analyse des données en temps réel ont récemment été développés. Les technologies actuellement disponibles devront faire l'objet de tests et validations supplémentaires avant que des implantations à grande échelle, au sein de réseaux existants, puissent être envisagées. Mais ces limitations n'ont pas empêché la recherche appliquée de progresser...

Outils d'analyse adaptés

Depuis quelques années, les outils de modélisation informatisée ont été l'objet de développements importants et font aujourd'hui partie des pratiques recommandées pour la

conception, la gestion, l'analyse et l'opération d'infrastructures d'approvisionnement en eau potable. Ces outils permettent de simuler l'écoulement de l'eau dans les réseaux ainsi que le transport de substances au cours de périodes représentatives (par exemple une journée), sous divers schémas de consommation d'eau et conditions d'alimentation (arrêt / démarrage des pompes, remplissage / vidange des réservoirs). Afin qu'ils soient mieux adaptés au contexte de sécurité des réseaux d'eau potable, ces outils ont fait l'objet de développements récents.

Puisque des incidents de contamination peuvent se produire en divers sites au sein des réseaux d'eau potable, afin de mieux les protéger, un certain nombre d'unités de détection devront être installées en différents endroits. Bien entendu, plus le nombre d'unités installées est important et plus le niveau de protection augmente (i.e. la probabilité de détecter rapidement un certain nombre d'incidents potentiels de contamination augmente). Idéalement, des unités devraient être installées en tout point de réseau. Mais sachant que le coût d'acquisition et d'installation de ces technologies demeurera relativement important, les services d'eau potable ne pourront probablement en acquérir qu'un nombre restreint. Ainsi, grâce à un assemblage de méthodes mathématiques et d'outils de simulation, de nombreuses études ont examiné la question de la localisation optimale d'un nombre déterminé de détecteurs au sein des réseaux. En général, les solutions obtenues visent à minimiser les impacts sur la santé publique selon des scénarios de contamination simulés.

D'autres travaux ont plus particulièrement examiné la gestion des conséquences des contaminations détectées. À cet égard, les outils de simulation s'avèrent utiles à la planification des opérations visant à empêcher la propagation des contaminants et à les évacuer. Très peu d'études ont abordé ces aspects à ce jour et elles se sont concentrées sur des réseaux fictifs et simples. Mais une planification adéquate des opérations de réponse contient sans aucun doute un ensemble de considérations pratiques relevant de l'analyse de réseaux réels. De plus, ces quelques études ont plutôt considéré la mise en œuvre simultanée de combinaisons d'opérations d'isolement et d'évacuation de contaminants. Pourtant, les directives indiquées précédemment recommandent une mise en œuvre progressive.

À la lumière des précédentes considérations, deux procédures ont été élaborées à partir de l'analyse des réseaux de deux municipalités du Québec, afin de systématiser, de façon efficace et sécuritaire, l'ensemble des opérations permettant :

- (1) d'isoler des contaminations détectées à l'intérieur de sous-secteurs de réseaux, au moyen de la fermeture des vannes appropriées; et
- (2) d'évacuer *ensuite* l'eau contaminée des secteurs isolés, par l'ouverture séquentielle et organisée des bornes d'incendie, désignées par l'appellation générale de rinçage.

Éléments méthodologiques et exemples d'application

Les figures 2 et 3 montrent les représentations schématiques des réseaux d'étude. Elles ont été construites à l'aide d'Aqua Cad, l'outil de simulation utilisé dans le cadre de ces travaux. Les

longueurs totales de conduites des deux réseaux sont respectivement de 20,4 et 12,7 kilomètres, et les consommations journalières moyennes sont respectivement de 3478 et 762 mètres cubes d'eau. Tel qu'il est possible de le remarquer, les configurations des deux réseaux sont différentes. Le premier (figure 2) a une source unique d'alimentation en eau alors que le second en compte deux (figure 3). De plus, les conduites sont organisées en mailles plus régulières et plus nombreuses dans le cas du réseau de la figure 3, comparativement à celui de la figure 2.

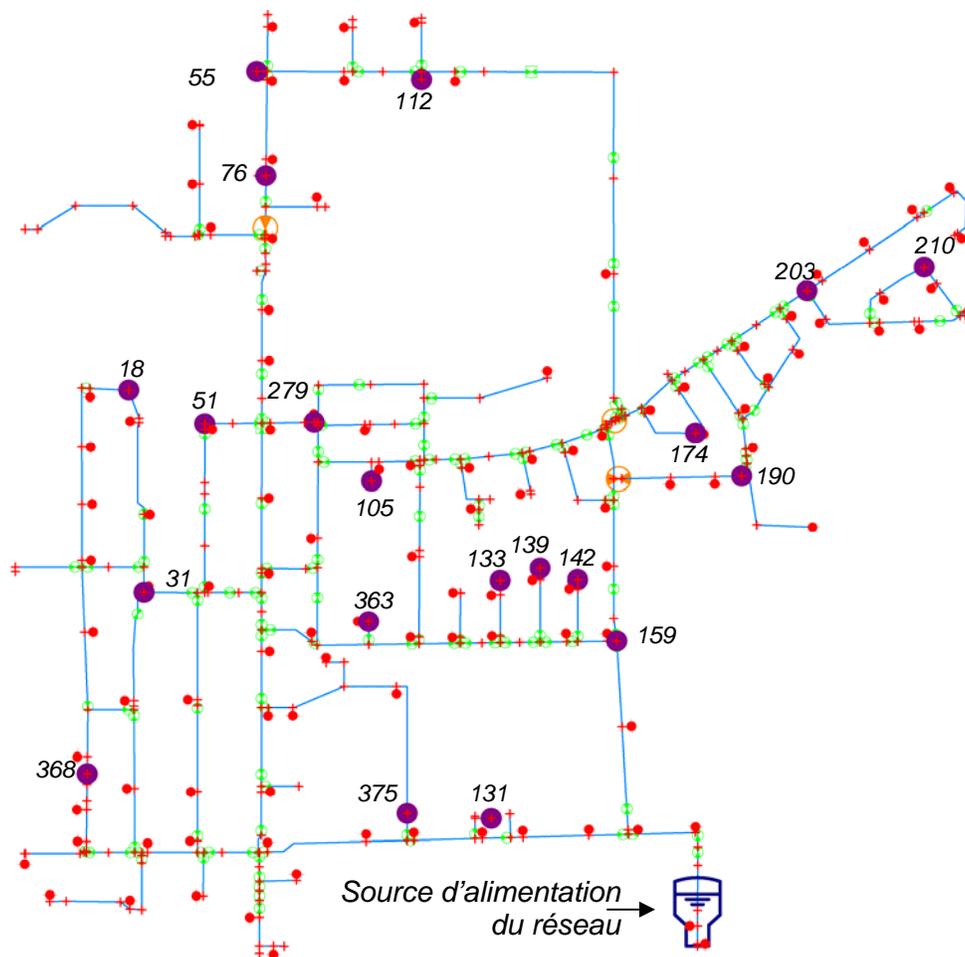


Figure 2 : Représentation du premier réseau d'étude. Les croix rouges indiquent les nœuds, les points rouges les bornes d'incendie et les cercles verts et orangés, respectivement les vannes ouvertes et fermées.

Les disques pourpres indiquent les résultats de la localisation de 20 détecteurs de contamination, lesquels sont numérotés suivant leur numéro de nœud.

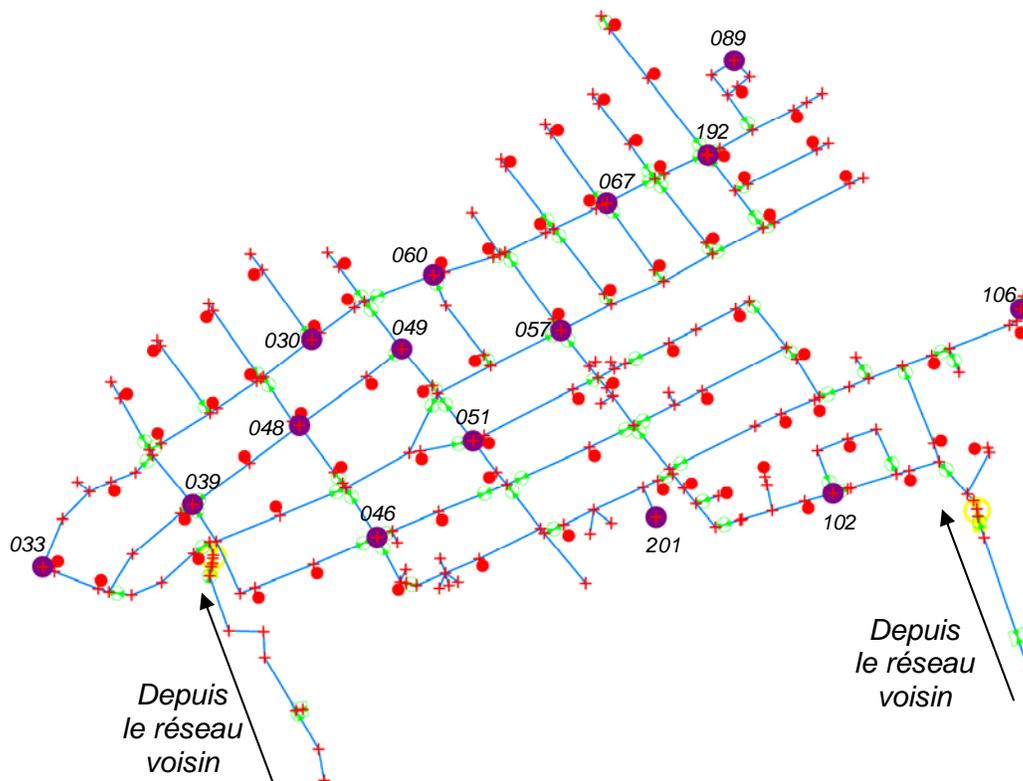


Figure 3 : Représentation du second réseau d'étude. Les croix rouges indiquent les nœuds, les points rouges les bornes d'incendie et les cercles verts et jaunes, respectivement les vannes ouvertes et clapets unidirectionnels. C'est via ces clapets que le réseau est alimenté par un autre réseau connexe. Les cercles pourpres indiquent les résultats de la localisation de 15 détecteurs de contamination, lesquels sont numérotés suivant leur numéro de nœud.

Détection de contaminations

Puisque les présents travaux s'inscrivent dans un contexte où l'on cherche à minimiser le risque sur la santé publique, dans un premier temps, des détecteurs ont été localisés de façon optimale sur les deux réseaux d'étude, utilisant l'une des approches dont il a été question à la section *Outils d'analyse adaptés*. À cette fin, un ensemble de scénarios de contamination ont été simulés, prenant chacun origine en un point différent du réseau. Les figures 2 et 3 illustrent les résultats obtenus pour la localisation de 20 et 15 détecteurs respectivement sur les deux réseaux d'étude (disques pourpres).

L'application de cette approche permet également d'associer à chaque détecteur un ensemble de sources possibles de contamination. Ainsi, considérant alternativement chaque scénario de détection (chaque détecteur), un ensemble de sites d'où la contamination peut provenir seront connus, lesquels déterminent un secteur potentiellement contaminé dont l'étendue augmentera avec le temps, jusqu'à ce que les opérations de réponse adéquates soient mises en branle.

Procédures de réponse

Les deux procédures de gestion des conséquences s'appuient sur un ensemble de règles et d'hypothèses..

En ce qui concerne la progression temporelle des opérations, il est supposé qu'elles démarrent deux heures après la première détection d'un contaminant. Ce délai compte pour (1) la préparation des équipes d'intervention qui devront se rendre sur le terrain afin de fermer les vannes; (2) l'initiation d'investigations visant à confirmer l'occurrence de contamination; et (3) la préparation d'avis sur la consommation à émettre aux usagers se trouvant au sein du secteur qui sera isolé. Lorsque les activités d'isolement et de confirmation de la contamination sont complétées, les opérations de rinçage sont ensuite entreprises (voir section *Des directives opérationnelles visant à mieux protéger la santé publique*). À ce stade, également, il est supposé que la population se trouvant au sein du secteur isolé s'est conformée aux avis sur la consommation.

La procédure pour l'isolement de contaminants prévoit que l'ensemble des vannes à fermer seront manipulées de façon simultanée, une fois que chacune des équipes d'intervention prévues à cette fin sera en poste. Il est supposé que les équipes initient leurs déplacements depuis une « caserne d'alerte » stratégiquement localisée et qu'elles atteignent chaque vanne par le chemin le plus court. Le secteur à isoler est délimité en tenant compte de marges de sécurité visant à assurer que le contaminant est bel et bien circonscrit et que l'ensemble des opérations peut être complété avant que la contamination (qui continue à se propager, ne l'oublions pas !) n'atteigne les vannes à fermer. Un point d'entrée d'eau non contaminée est également identifié, à partir duquel le rinçage sera exécuté. La figure 4 illustre l'application de la procédure d'isolement lorsqu'une première détection se produit au détecteur 030 du réseau de la figure 3. Les vannes d'isolement apparaissent en orangé, rose et bleu foncé. Les conduites en pourpre représentent l'étendue du secteur potentiellement contaminé, deux heures suivant la première détection. Les conduites en rose, bleu et cyan sont celles qui ont été ajoutées au secteur à isoler, lors de l'application de la procédure.

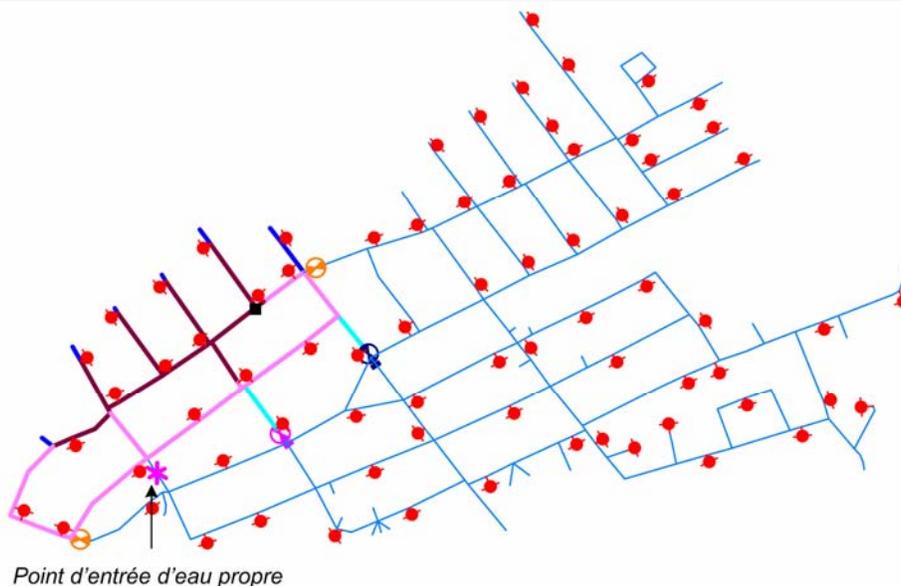


Figure 4 : Illustration de l'application de la procédure d'isolement au cas d'une première détection se produisant au détecteur 030.

La procédure de rinçage est basée sur le principe du rinçage unidirectionnel (RUD). Contrairement au rinçage traditionnel, qui prévoit l'ouverture de bornes d'incendie de façon plus ou moins organisée, le RUD procède de façon séquentielle et planifiée. Le secteur à rincer est subdivisé en tronçons de conduites à rincer (ou séquences de rinçage). Chaque séquence est isolée une à une de façon à ce que l'écoulement de l'eau y soit obligatoirement unidirectionnel. La borne d'incendie se trouvant à l'extrémité du tronçon est ouverte pendant le temps nécessaire à évacuer l'eau contaminée qui s'y trouve. Une séquence ne peut être rincée que si les conduites d'où provient l'eau de rinçage l'ont préalablement été. Une telle façon de procéder assure en tout temps que l'eau transite depuis les secteurs propres vers les secteurs à rincer, empêchant la dissémination de l'eau contaminée et permettant un meilleur contrôle de l'évacuation d'une contamination. Ces éléments sont essentiels à une réponse efficace et sécuritaire. Par exemple, à la figure 5a, qui illustre le rinçage traditionnel, l'ouverture de la borne d'incendie engendre la circulation d'eau sur l'ensemble du petit secteur isolé. En ouvrant, l'une après l'autre, diverses bornes sur le secteur, il devient difficile d'éviter de disséminer le contaminant à des conduites précédemment rincées ou qui n'auraient pas été en contact avec le contaminant. À la figure 5b, où le RUD est illustré, on remarque que la façon de procéder est plus structurée et sécuritaire. L'ensemble des opérations de RUD, sur le terrain, est exécuté par des équipes d'intervention expérimentées.

Lors de la mise en œuvre du RUD, si l'eau contaminée présente un danger pour l'environnement, elle ne pourra être rejetée au milieu récepteur ou à l'égout sans nécessiter des précautions supplémentaires. Par exemple, elle pourra être traitée *in situ* à l'aide de filières de traitement portatives ou encore elle sera récupérée et traitée ultérieurement dans un site spécialisé. Nos travaux ne couvrent pas cet aspect, mais ils tiennent compte du fait que le

recours à des équipements supplémentaires pour récupérer et traiter l'eau contaminée imposera inévitablement des délais au cours de la mise en œuvre des opérations. Ce qui appuie encore une fois la thèse d'un processus opérationnel progressif, où le contaminant est d'abord isolé avant d'être évacué (section *Des directives opérationnelles visant à mieux protéger la santé publique*).

La figure 6 illustre l'application de la procédure de définition des opérations de RUD, pour le rinçage du secteur isolé présenté à la figure 4. Chaque séquence de rinçage est indiquée à l'aide d'une couleur différente. L'ensemble des bornes et vannes devant être manipulées sont indiquées respectivement en rouge et en bleu foncé. Les vannes orangées sont celles qui ont précédemment servi à l'isolement du secteur.

Des résultats similaires à ceux des figures 4 et 6 ont été générés pour l'ensemble des scénarios de détection dans chacun des deux réseaux d'étude.

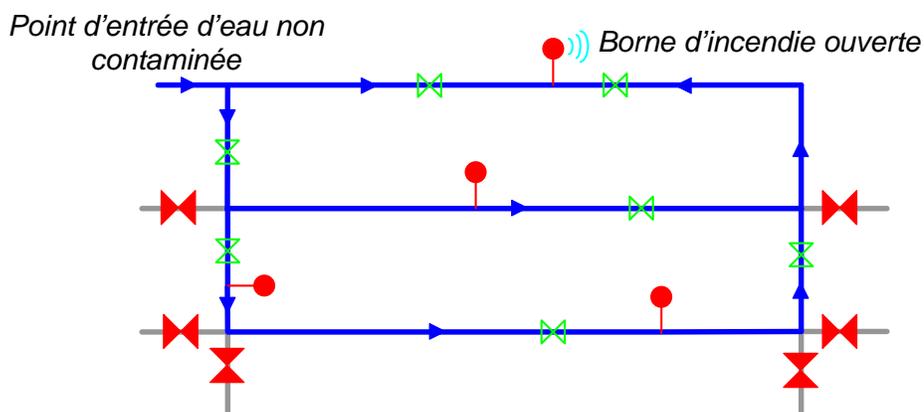


Figure 5 (a) (voir la légende ci-après)

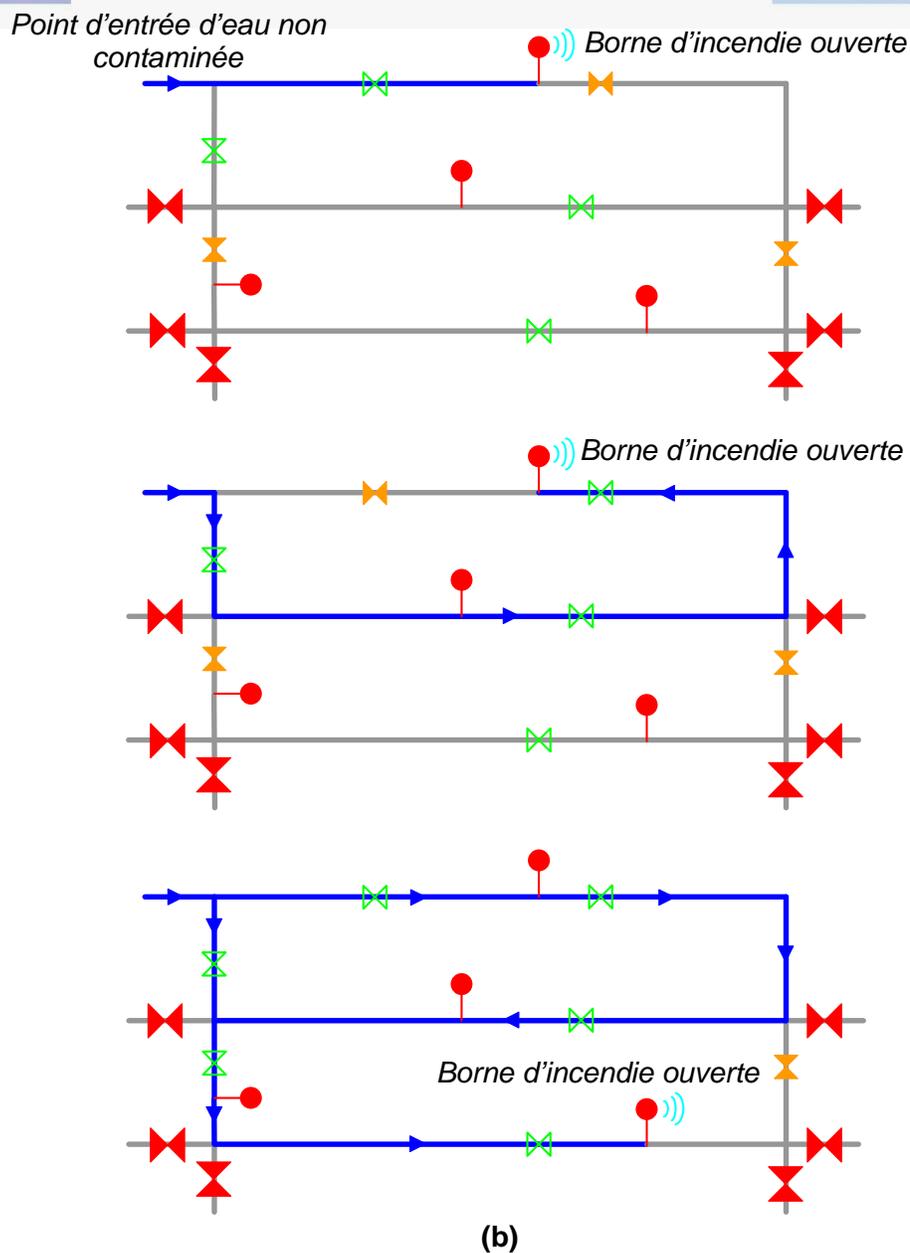


Figure 5 : (a) Illustration du rinçage traditionnel pour le secteur isolé par les vannes en rouge; les vannes vertes sont ouvertes. (b) Représentation de trois séquences de RUD pour le même secteur isolé; les vannes orangées sont fermées aux fins du RUD. Les conduites en bleu sont celles dans lesquelles l'eau s'écoule lors du rinçage. Les flèches indiquent les sens d'écoulement.

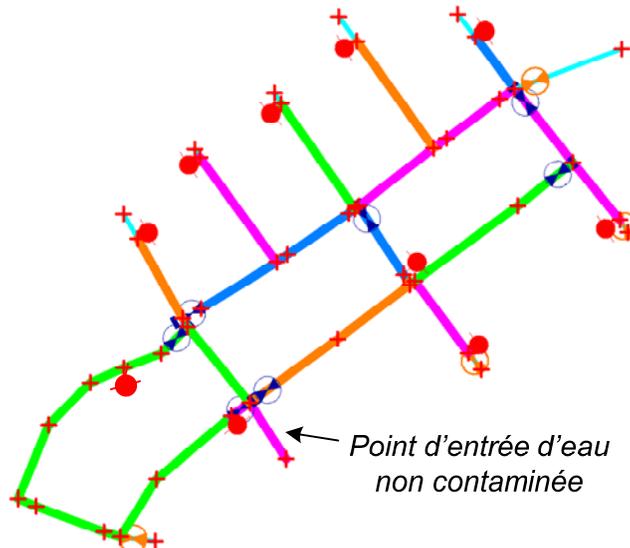


Figure 6 : Illustration de l'application de la procédure pour la définition des opérations de RUD pour le secteur isolé de la figure 4.

Conclusion

Dans le cadre de ces travaux de doctorat, deux procédures ont été élaborées afin de systématiser les opérations d'isolement et d'évacuation de contaminations détectées en réseaux d'eau potable. À cette fin, deux réseaux réels alimentant des municipalités du Québec ont été analysés. Les résultats obtenus révèlent que, de façon générale, la facilité à définir les opérations dépend de la localisation des bornes d'incendie et des vannes au sein de réseaux. Et pour ce faire, des représentations schématiques détaillées sont requises. Entre autres, cet élément permet à nos travaux de se démarquer des études précédentes, qui ont considéré des réseaux simples et fictifs, pour lesquels les « meilleures opérations envisageables » ont été obtenues, sur la base d'information limitée ou encore hypothétique quant à la localisation des bornes et des vannes. En outre, l'application de nos procédures permet d'indiquer certaines modifications à apporter au niveau de la conception des réseaux (p. ex. ajout de vannes), de façon à favoriser une mise en œuvre efficace et sécuritaire des opérations de réponse et ainsi améliorer la protection de la santé publique.

D'autres travaux d'applications seront nécessaires afin de valider plus avant les procédures de réponse puisque chaque réseau d'eau potable est différent. Les règles sur lesquelles s'appuient les procédures pourront alors être adaptées et bonifiées. Également, des applications supplémentaires où les nombres de détecteurs supposés varieraient, sous des contraintes budgétaires diverses, pourront être réalisées. En ce qui concerne l'isolement de secteurs contaminés, dans le cas des réseaux de très grande taille, la fermeture simultanée des vannes requerra fort probablement des nombres d'équipes d'intervention trop importants. D'autres possibilités devront être considérées. Par exemple, on pourra compter sur l'installation de vannes actionnées à distance.

Pour en savoir plus

Conseil canadien des ministres de l'environnement (2004) *De la source au robinet : Guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine*. Winnipeg, le Conseil, 274 p. ISBN 1-896997-50-3. http://www.ccme.ca/assets/pdf/mba_guidance_doc_f.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2006) *A Water Security Handbook: Planning for and Responding to Drinking Water Contamination Threats and Incidents*. Washington, US EPA, 72 p. http://www.epa.gov/safewater/watersecurity/pubs/water_security_handbook_rptb.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) et AWWA Research Foundation (2003) *Case Study for a Distribution System Emergency Response Tool*. Washington, US EPA, 50 p. http://www.epa.gov/safewater/watersecurity/pubs/casestudy_security_pipelinenet.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2005) *Technologies and Techniques for Early Warning Systems to Monitor and Evaluate Drinking Water Quality: A State-of-the-Art Review*. Washington, US EPA, 236 p. <http://www.epa.gov/nhsrsc/pubs/reportEWS120105.pdf>

ASCE, AWWA et WEF (2004) *AWWA Security Guidance for Water Utilities Overview*. Denver, American Water Works Association. <http://www.awwa.org/awwa/science/wise/report/cover.pdf>

Remerciements

Ces travaux ont fait l'objet d'une collaboration avec la firme Aqua Data Inc., dans le cadre d'une bourse d'études supérieures à incidence industrielle octroyée par le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG).