# SecurEau : sécurité et décontamination d'un réseau d'eau potable

■ S. FASS[1], J.-C. BLOCK[2]

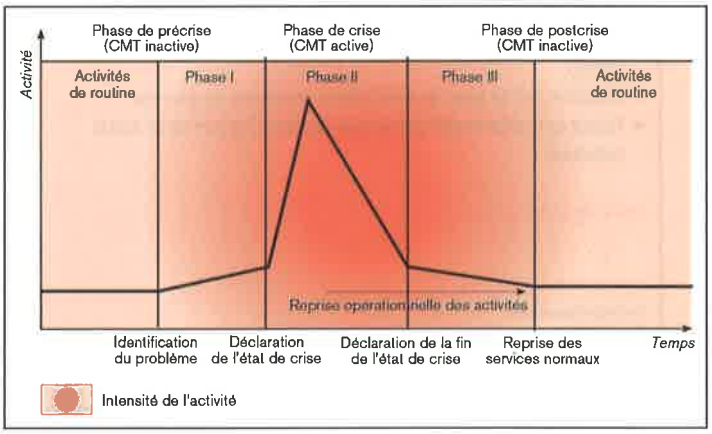
**Mots-clés** : réseau, eau potable, détection rapide, capteur, modèle mathématique, nettoyage, méthode de décontamination, positionnement optimal

**Keywords**: network, drinking water, rapid detection, sensor, model, cleaning, decontamination method, optimal positionning

## Introduction

L'eau potable et les infrastructures associées sont cruciales pour la santé humaine et pour le fonctionnement de notre économie. Réduire la vulnérabilité des réseaux d'eau potable à des contaminations accidentelles (événements peu fréquents) ou volontaires (événements très rares) est l'un des défis principaux de la sécurité, qui concerne les services publics et privés de l'eau. Rétablir rapidement les infrastructures d'eau potable (pompage de la ressource, installations de traitement, réservoirs d'eau traitée, réseaux de distribution...) ainsi que l'accès à l'eau potable constitue une autre préoccupation majeure pour les organismes de réglementation et les services publics et privés de l'eau. En effet, l'arrêt de la distribution de l'eau aurait un sérieux impact à la fois directement sur la qualité de vie des citoyens, mais également entraînerait un risque de désordre social (situation similaire à toute autre contamination accidentelle de grande ampleur ou à une catastrophe naturelle).

Ces événements de contaminations accidentelle ou malveillante entraîneraient *de facto* une situation de crise, affectant les services de l'eau, et nécessiteraient plus que les moyens habituels de fonctionnement et des structures organisationnelles adaptées pour y faire face. La future norme ISO 11830 sur la gestion de crise décrit les éléments fondamentaux d'un système de gestion de crise. Cette norme fournira des indications générales sur la manière dont une crise doit être traitée et sur la manière de rétablir les services (phase de postcrise), mais également sur la meilleure façon de tirer des conclusions et de réviser les procédures. Comme le montre la *figure 1*, un grand nombre de mesures « préventives » doivent être mises en œuvre avant la crise, et les activités de restauration doivent commencer pendant la phase de crise. Dans le même temps, des scénarios spécifiques pour assurer une alimentation de la population en eau potable (distribution de bouteilles d'eau, citernes d'eau, systèmes mobiles de traitement d'eau d'urgence, etc.) doivent également être développés[3].




CMT : cellule de gestion de crise.

**Figure 1. Gestion des actions en périodes de précrise, crise et postcrise (future norme ISO 11830)**

[1] Université de Lorraine – direction des partenariats – rue du Doyen-Roubault – 54500 Vandœuvre-lès-Nancy.

[2] Université de Lorraine – Laboratoire de chimie physique et microbiologie pour l'environnement (LCPME) – 405, rue de Vandœuvre – 54600 Villers-lès-Nancy.

[3] Loo S.L., Fane A.G., Krantz W.B., Lim T.T. (2012) : « Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria ». Water Research ; 46 : 3125-3151.

Plusieurs points de vulnérabilité aux contaminants (produits chimiques, biologiques et radionucléides) sont bien identifiés : le point de captage, le transport de l'eau brute, les installations de traitement, les réservoirs d'eau traitée et les réseaux de distribution de l'eau potable.

Dans le cadre du 7e programme cadre de recherche et développement, sur le thème « sécurité », la Commission européenne a retenu le projet SecurEau (2009-2013) visant à étudier les moyens de détecter le plus tôt possible l'introduction d'un contaminant dans un réseau public de distribution d'eau, sa dispersion et les moyens de restaurer rapidement la fonctionnalité du réseau et la distribution de l'eau potable.

Le projet cible quatre niveaux d'actions de recherche et développement qui s'insèrent dans le schéma de l'ISO 11830 *(figure 1)* :
– élaborer des outils pour la détection rapide des contaminants : la détection rapide de la détérioration de la qualité de l'eau nécessite des méthodes sensibles et des techniques de détection en temps réel (capteurs non spécifiques du contaminant permettant de détecter des signaux inattendus). À titre d'exemple, des capteurs mesurant des paramètres classiques du traitement de l'eau (pH, conductivité, température, chlore, matière organique, turbidité), associés à des modèles mathématiques pour un positionnement optimal, ont été développés et testés en situation réelle ;
– développer des méthodes analytiques pour confirmer la nature du contaminant (puis, plus tard, pour confirmer l'efficacité du nettoyage) ; ces méthodes rapides et précises tant qu'il s'agit d'analyser des contaminants dans l'eau (par exemple paraquat, méthylmercure, *Escherichia coli*, spores de *Bacillus subtilis*, radionucléides…) montrent leurs limites lors de leur recherche quantitative sur les parois du réseau ;
– localiser rapidement la (les) source(s) de la contamination et de la zone contaminée grâce à de l'ingénierie mathématique ; ces modèles nécessitent un couplage avec des modèles hydrauliques préexistants et vont permettre une action ciblée des opérateurs sur la zone contaminée (incluant la rupture de l'approvisionnement en eau si nécessaire) ;
– définir des méthodes et des stratégies à plusieurs étapes pour le nettoyage du système de distribution (incluant l'eau et surtout les parois de la canalisation, faites de matériaux très diversifiés et toujours porteurs de biofilms, dépôts et produits de corrosion). La principale difficulté est de trouver et d'appliquer la méthode adéquate pour nettoyer les parois du réseau de distribution, parois ayant la capacité d'adsorber le contaminant (le rendement d'adsorption dépend à la fois du contaminant et de la nature du tuyau d'eau potable, plus ou moins corrodé).

## 1. Phase de précrise

La phase de précrise est confondue avec les opérations de routine et la gestion normale du système. Elle comprend, par exemple, les décisions concernant la structure de l'équipe de gestion de crise et la formation des personnels concernés.
Les travaux de recherche réalisés dans le cadre du projet SecurEau et liés à la phase de précrise ont été menés selon trois directions principales :
– le développement de capteurs, à la fois spécifiques et non spécifiques. Respectivement, ils mesurent la teneur en radionucléides dans l'eau et, grâce à la mesure de paramètres traditionnels (conductivité, chlore, pression, etc.), ils peuvent alerter pour tout changement brusque de la qualité de l'eau. D'autres capteurs (Optiquad, FS-900 et SkidSens) ont été testés pour leur capacité à surveiller les dépôts à la surface des tuyaux ;
– l'utilisation de « coupons sentinelles ». Ces dispositifs en matériaux polymères – polyéthylène haute densité (PEHD), éthylène-propylène-diène monomère (EPDM), etc. – doivent être installés dans les réseaux de distribution d'eau (ou sur une dérivation) afin que les dépôts et biofilms se forment sur leur surface interne. L'extraction et l'analyse de ces coupons, effectuées sans stopper la distribution de l'eau, doivent permettre l'identification des contaminants associés aux dépôts. Ultérieurement, ces coupons permettront la vérification de l'efficacité des procédures de nettoyage appliquées sur les zones contaminées ;
– le positionnement optimal des capteurs et des coupons grâce à de nouveaux modèles prenant en

| Capteur | Fabriquant | État | Maintenance | Application |
|---|---|---|---|---|
| Kapta 3000 AC4 | Endetec | Commercial | Légère (une fois/an) | Eau |
| Kapta 3000 OT3 | Endetec | Prototype | Légère (une fois/an) | Eau |
| Kapta 3000 RAD1 | Endetec & CEA | Prototype | – | Eau |
| OptiQuad | Krohne Optosens GmbH | Prototype | Légère (une fois/an) | Surface |
| FS-900 | NeoSens SA | Commercial | Non nécessaire | Surface |
| SkidSens | NeoSens SA | Commercial | Non nécessaire | Surface |
| MSS | Enkrott Quimica | Prototype | Légère. Pas de nettoyage nécessaire | Surface |
| Coupon sentinelle | Fabrication IWW | Non commercialisé | Non nécessaire | Surface |

**Tableau I. Informations générales sur les capteurs de qualité de l'eau et sur les dispositifs de mesure d'accumulation des dépôts**

compte des hypothèses économiques, stratégiques et techniques imposées par les opérateurs.

## 1.1. Capteurs et coupons sentinelles

Parmi les 14 capteurs non spécifiques commerciaux évalués, six d'entre eux ont été sélectionnés : trois sont consacrés à l'analyse de l'eau (chlore libre, pression, température, conductivité, matière organique, turbidité, radionucléides), tandis que les trois autres permettent l'évaluation de l'accumulation de dépôts à la surface des tuyaux (*tableau I*).

Les capteurs consacrés à l'analyse de l'eau ont deux objectifs. Le premier consiste à détecter rapidement tout changement anormal de la qualité de l'eau, et le second est de fournir une assistance à l'opérateur pour gérer le réseau d'eau potable dans les conditions opérationnelles normales.

Les coupons sentinelles ont trois objectifs principaux :
– caractériser les dépôts sur le coupon ;
– identifier les contaminants adsorbés ;
– et valider le nettoyage et/ou les procédures de décontamination.

Ces dispositifs (capteurs et coupons sentinelles) doivent être installés au cours de la phase de précrise dans les réseaux de distribution d'eau potable (c'est-à-dire en période de routine) en intégrant le fait que cela crée de nouveaux points d'accès au réseau de distribution (et donc un risque d'augmenter sa vulnérabilité).

### 1.1.1. Capteurs non spécifiques (Kapta 3000 AC4 et Kapta 3000 OT3)

Le capteur Kapta 3000 AC4 mesure la concentration en chlore libre, la pression, la température et la conductivité (*tableau II*). Dans le cadre de SecurEau, deux réseaux de distribution d'eau potable (un rural, l'autre urbain, à Londres) ont été équipés avec chacun 30 à 40 capteurs qui mesurent la qualité de l'eau en direct et envoient les résultats toutes les deux heures à un centre de contrôle opérationnel.

| Paramètre | Gamme | Résolution | Fidélité | Maintenance | Précision | Temps de réponse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Chlore libre | 0-2,5 mg/L | 0,01 | ± 5 % | La sonde multiparamètre doit être remplacée une fois par an | ± 10 % | < 30 s |
| Conductivité (µS/cm) | 100-1000 | 1 | ± 5 % | | ± 5 % | |
| Pression | 1-10 bars | 1 mbar | ± 2 % | | ± 10 % | |
| Température | 0-40 °C | 0,1 °C | ± 5 % | | ± 5 % | < 15 s/°C |

**Tableau II. Caractéristiques du capteur Kapta 3000 AC4**

Source : VERI.
**Figure 2. Kapta 3000 AC4 (gauche) et OT3 (droite)**

| Paramètre | Gamme | Résolution | Fidélité | Maintenance | Précision | Temps de réponse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matière organique | 0,1-10 mgC/L | 0,1 mgC/L | ± 5 % | La sonde multiparamètre doit être remplacée une fois par an | ± 10 % | < 6 s |
| Absorbance UV (254 nm) | 0,01-0,3 AU/cm | 0,01 UA/cm | ± 5 % | | ± 10 % | < 6 s |
| Turbidité | 2-50 NTU | 1 NTU | En cours | | En cours | < 6 s |

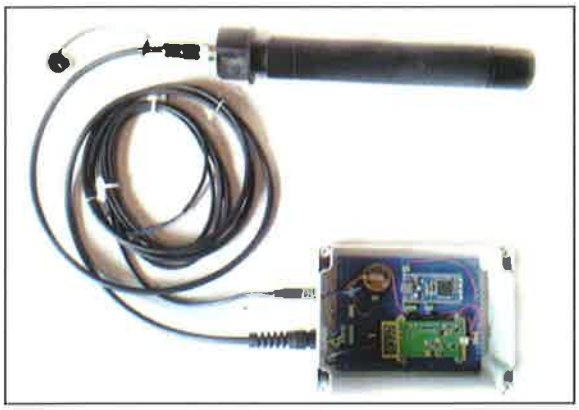
**Tableau III. Caractéristiques du capteur Kapta 3000 OT3 (prototype)**

Le capteur Kapta 3000 OT3 mesure, grâce à deux LED, la transmission à deux longueurs d'onde : 254 nm pour la matière organique et 625 nm pour la mesure de la turbidité. Deux chemins optiques sont utilisés pour chaque longueur d'onde, afin de compenser l'encrassement éventuel (*tableau III*). Ce capteur est actuellement en cours de finalisation et ses spécifications sont en cours d'évaluation.

### 1.1.2. Capteur spécifique (Kapta 3000 RAD1)

Les caractéristiques du prototype d'un nouveau type de capteur en ligne pour la mesure de traces d'émetteurs gamma en solution sont présentées dans le *tableau IV* et la *figure 3*.

En utilisant un temps d'intégration de 10 s, le capteur alerte avant que les niveaux maximaux admissibles en $^{60}Co$ et $^{137}Cs$ radioactifs soient atteints. En revanche, la limite de détection est trop élevée pour l'américium ($^{241}Am$), pour lequel le temps d'intégration devrait être d'environ 90 min ($^{241}Am$ est essentiellement un émetteur alpha et le système de détection n'est pas bien adapté). Ce capteur est conçu pour être facilement et rapidement installé dans les réseaux de distribution d'eau potable.



Source : CEA List.
**Figure 3. Kapta 3000 RAD1**

### 1.1.3. Capteurs spécifiques des dépôts

Les contaminants, en fonction de leur nature, peuvent s'adsorber sur les parois des tuyaux du réseau d'eau potable, dans les dépôts. Par conséquent,

| Radionucléide | Limite de détection (Bq/kg), mesure pendant 10 secondes |
|---|---|
| $^{241}Am$ | 984 |
| $^{137}Cs$ | 492 |
| $^{60}Co$ | 25 |

**Tableau IV. Caractéristiques du capteur Kapta 3000 RAD1 (prototype)**

| Capteur | Paramètres mesurés | Résolution | Maintenance | Temps de réponse | Prix €* |
|---|---|---|---|---|---|
| OptiQuad | Fluorescence, diffusion, réflexion et transmission | | Une fois par an | < 1 min | Approx. 30000 |
| FS-900 | Résistance au transfert de chaleur | 10-1000 µm | | 2-4 h | Approx. 5000 |
| SkidSens | Résistance au transfert de chaleur | 10-5000 µm | | 1 h | Approx. 2000 |
| MSS | Amplitude et atténuation de l'onde propagée | 0,076 mV | | Instantanée (30 ms) | 3000 |

*Tarifs 2012 (peuvent être modifiés).

**Tableau V. Caractéristiques des capteurs spécifiques des dépôts**

leur mesure est considérée comme très importante. Ainsi des capteurs de suivi des dépôts et des biofilms semblent très utiles pour évaluer l'efficacité des procédures de nettoyage du réseau. Malheureusement, leur intérêt est assez limité dans un système de distribution d'eau potable pour deux raisons principales :

– tout d'abord, leur coût élevé ne permet pas qu'ils soient utilisés en grand nombre dans un réseau *(tableau V)* ;

– deuxièmement, la faible sensibilité du FS-900 et du SkidSens ne leur permet pas d'être utilisés dans les réseaux d'eau potable. Le capteur Optiquad ne peut détecter que les premiers événements de dépôt. Ces premiers éléments agissent alors comme un écran en empêchant la propagation du signal.

### 1.1.4. Coupons sentinelles

Les coupons sentinelles *(tableau I* et *figure 4)* doivent être installés au cours de la phase de précrise dans les réseaux de distribution d'eau potable de manière à permettre, pendant et après la période de crise :

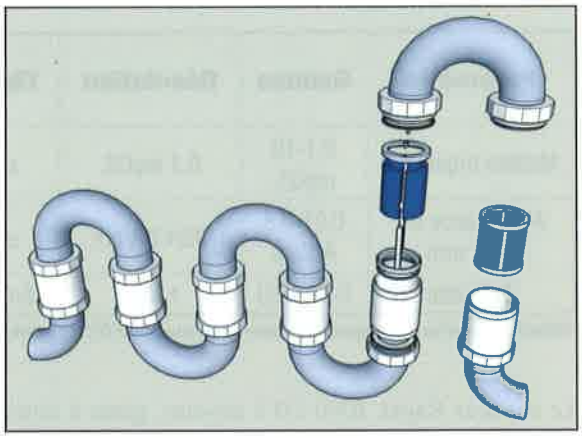
– l'analyse des dépôts sur les coupons ;

– l'identification des contaminants adsorbés ;

– et l'évaluation de l'efficacité des mesures de décontamination.

Les matériaux utilisés pour les coupons ne devraient pas être corrodables, car ils seront installés dans le réseau pour plusieurs années. Ces coupons sentinelles permettent à la fois le suivi des dépôts dans le réseau, mais aussi à confirmer la suppression réussie des dépôts à la surface des tuyaux lors d'un nettoyage.

Cette approche des « coupons sentinelles » est un nouvel outil développé dans le projet SecurEau. Leur



Source : Martin Strathmann, IWW.

**Figure 4. Représentation des coupons sentinelles**

installation sur le réseau devrait idéalement se faire lors de travaux d'entretien du réseau afin de minimiser les coûts. Ils peuvent également être installés dans une chambre équipée avec d'autres capteurs.

### 1.1.5. Coûts d'installation

Le principal coût lié à l'installation des capteurs ou des coupons sentinelles est l'intervention technique sur le réseau avec la construction d'une chambre d'accès. On estime le coût entre 1 500 à 15 000 € en fonction de la situation géographique (zone rurale sans travaux routiers ou zone urbaine avec des interruptions de la circulation et des travaux routiers), de la disponibilité de l'énergie, etc. Plusieurs capteurs (y compris les coupons sentinelles) peuvent être installés dans la même chambre afin de mutualiser les coûts.

Il existe au moins deux stratégies possibles pour l'installation d'une chambre d'accès :

– soit prévue à l'avance et réalisée dans le cadre d'un programme de renouvellement de réseau ;

– ou en profitant de travaux (maintenance, réparation de fuite, échantillonnage, etc.).
Ces deux stratégies doivent être croisées avec l'utilisation de modèles mathématiques qui permettent de définir les meilleurs emplacements pour leur mise en œuvre (§ 1.2).

## 1.2. Emplacement optimal des capteurs de qualité de l'eau

L'installation de capteurs liés à la qualité de l'eau en réseau de distribution d'eau potable permet une alerte précoce en cas de changement brusque de la qualité de l'eau. Idéalement, ces capteurs sont répartis dans le réseau en tenant compte d'un certain nombre de considérations. En effet, l'opérateur doit considérer le coût lié aux capteurs et à leur installation (budget limité), l'efficacité (volonté de détecter une contamination en moins de $x$ heures), la protection de groupes particuliers de consommateurs (par exemple, les enfants, les malades hospitalisés ou les résidents des maisons de retraite...). Ces considérations peuvent évidemment être combinées, toujours avec le même objectif en tête : alerter le plus rapidement possible de façon à protéger le consommateur.
Les objectifs et les contraintes doivent également prendre en compte des considérations techniques liées aux capteurs, l'application de procédures de nettoyage du réseau, tandis que d'autres sont propres à la vulnérabilité de la population.
Pour définir l'emplacement optimal des capteurs, deux logiciels doivent être utilisés. Le premier génère les événements de contamination par une méthode de Monte Carlo et nécessite au préalable de connaître les conditions hydrauliques du réseau (demande en eau au niveau des réservoirs, au niveau des nœuds, positionnement et caractéristiques des soupapes, des pompes...). La deuxième étape consiste à résoudre un problème d'intégration non linéaire multiobjectif, avec les événements de contamination préalablement générés lors de la première étape. Les logiciels sont en usage libre (pas de droit d'accès au code source), mais ne sont pas documentés.

## 1.3. Emplacement optimal des coupons sentinelles

Les coupons sentinelles sont des outils simples qui peuvent être utilisés pour déterminer la composition des dépôts à travers le réseau dans des conditions opérationnelles normales, mais également pour contrôler l'efficacité des méthodes de décontamination appliquées. Les coupons doivent être positionnés de manière optimale sur l'ensemble du réseau de façon à être représentatifs tout en minimisant les coûts. Par conséquent, les modèles mathématiques dédiés à l'optimisation de l'emplacement des coupons sentinelles diffèrent de ceux destinés à l'optimisation spatiale des capteurs de qualité de l'eau, parce que les objectifs et les contraintes ne sont pas les mêmes.
Pour positionner de façon optimale les coupons sentinelles, un modèle mathématique de l'accumulation de contaminants est formulé. Sa conception repose sur le principe qu'une « bonne qualité d'eau » à un endroit donné entraîne une bonne qualité au niveau des nœuds en amont immédiat. Par ailleurs, les endroits où la concentration des contaminants dans l'eau est la plus élevée et la contrainte de cisaillement faible sont des candidats idéaux. Cette approche est très simple à mettre en œuvre et nécessite, en tant que seule et unique condition, l'existence d'un modèle de réseau hydraulique. Il s'agit d'un processus en deux étapes. Tout d'abord, la contrainte de cisaillement est élaborée à n'importe quel endroit et, en parallèle, des événements de contamination sont générés. Ensuite, la formulation d'un modèle de couverture maximale est résolue avec un kit de programmation linéaire GNU. Les conditions préalables sont de connaître les conditions hydrauliques du réseau (demande en eau au niveau des réservoirs, au niveau des nœuds, positionnement et caractéristiques des soupapes, des pompes...). Les logiciels sont en usage libre (pas de droit d'accès au code source), mais ne sont pas documentés.

## 1.4. Conclusions

Les capteurs et les coupons sentinelles décrits ci-dessus doivent être installés pendant la phase de précrise, c'est-à-dire lors de la gestion quotidienne, habituelle, du réseau. Les capteurs de la qualité de l'eau seront donc présents pour détecter une contamination, mais ils peuvent évidemment être utilisés pendant le fonctionnement normal du réseau, pour la surveillance « classique » de la qualité de l'eau. Les fluctuations hebdomadaires et les variations saisonnières ou lors de grands événements prévisibles doivent être surveillées et prises en compte de façon à être en mesure de détecter tout changement anormal de qualité de l'eau.

## 2. Phase de crise

La phase de crise commence par la déclaration d'un « état de crise » (future norme ISO 11830) et l'implication de l'équipe de gestion de crise. Elle regroupe toutes les activités de contrôle de la crise et se termine par la déclaration de la fin de la crise et la dissolution de l'équipe de gestion de crise. À ce moment, l'équipe de direction normale reprend son activité et la phase de postcrise commence.

Pendant la phase de crise, plusieurs outils développés dans SecurEau pourraient être utilisés :

– les capteurs de qualité de l'eau à la fois pour continuer la surveillance de la qualité de l'eau, mais aussi pour mesurer la propagation de la contamination (si la distribution de l'eau n'a pas été interrompue) ;

– les coupons sentinelles pour surveiller la concentration du polluant adsorbé sur les parois du réseau ;

– les modèles mathématiques pour déterminer, grâce à des mesures effectuées sur le réseau, les zones qui ont été contaminées et la (les) source(s) de contamination ;

– les différentes méthodes de nettoyage, traditionnelles et innovantes, pouvant être appliquées pour décontaminer le réseau, en particulier les parois des tuyaux.

### 2.1. L'identification des sources de contamination et les zones contaminées

Si une contamination (accidentelle ou délibérée) se produit dans un réseau d'eau potable, il est essentiel d'identifier la source de la contamination et de déterminer la zone susceptible d'être contaminée, afin de l'isoler et de la décontaminer spécifiquement, mais aussi pour continuer à distribuer l'eau potable dans les zones non touchées.

Différentes approches mathématiques combinées avec les modèles hydrauliques ont été appliquées dans le projet SecurEau pour déterminer, aussi rapidement que possible, les sources probables de contamination et les zones potentiellement contaminées. Cette détermination est rendue possible grâce aux informations fournies par les capteurs de qualité de l'eau installés au cours de la gestion normale des réseaux (§ 1, phase de précrise). La précision et la rapidité de la détermination sont directement corrélées avec le nombre et l'emplacement des capteurs installés.

### 2.2. Analyse des contaminants chimiques, biologiques, radiologiques ou nucléaires

Dans le cas d'une attaque terroriste entraînant la contamination de l'approvisionnement en eau potable, des techniques d'intervention rapide sont nécessaires pour permettre de détecter et de quantifier les composés introduits tout en minimisant le risque de faux négatifs ou de faux positifs.

Des méthodes analytiques ont été développées ou améliorées dans le projet SecurEau pour quelques polluants typiques de type produit chimique, biologique, radiologique ou nucléaire (CBRN). Certaines d'entre elles ont été développées pour les besoins propres de SecurEau, tandis que d'autres pourraient être utilisées en cas de contamination. Toutes ces méthodes ont donné des résultats précis lors de la détermination de la nature et/ou de la concentration d'un polluant dans l'eau alors que cette détermination d'un polluant adsorbé sur les parois du réseau a été systématiquement estimée comme étant difficile et imprécise.

#### 2.2.1. Produits chimiques

Les méthodes quantitatives et qualitatives développées pour quelques contaminants chimiques pour les mesures dans la phase aqueuse sont présentées dans le *tableau VI*.

| Contaminant | Méthodes | Gamme de linéarité | Limite de détection | Temps nécessaire pour l'analyse | Précision | Justesse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Paraquat | DI-HPLC-DAD | 0,1-80 mg/L | 0,01 mg/L | 4 min | 21 % | 98-101 % |
| Paraquat | SPE-HPLC-DAD | 0,1-100 mg/L | 0,05 µg/L | 8 h | 3 % | – |
| Chlorfenvinphos | DLLME + GC-MS | 0,01-10 µg/L | 0,0014 µg/L | 30 min | 10 % | 74 % |
| Carbofurane | DLLME + GC-MS | 0,01-10 µg/L | 0,0023 µg/L | 30 min | 15 % | 83 % |
| BDE-100 | DLLME + GC-MS/MS | 0,1-10 µg/L | 0,5 ng/L | 30 min | 21 % | 116 % |
| Méthylmercure | LLE + dérivatisation + GC-HRMS | 1- 50 ng/L | 0,21 ng/L | 150 min | 10 % | 103 % |

BDE-100 : 2,2',4,4',6- pentabromodiphényl éther ; DI-HPLC-DAD : injection directe - chromatographie liquide haute performance - détecteur à barrettes de diodes ; SPE-HPLC-DAD : extraction en phase solide - chromatographie liquide haute performance - détecteur à barrettes de diodes ; DLLME : micro-extraction dispersive liquide-liquide ; GC-MS : chromatographie gazeuse avec spectrométrie de masse ; GC-MS/MS : chromatographie gazeuse avec spectrométrie de masse en tandem ; LLE : extraction liquide-liquide ; HRMS : spectrométrie de masse à haute résolution.

**Tableau VI. Produit chimique testé, limites de détection dans l'eau**

| Contaminant | Adsorption | Méthode de désorption | Taux d'extraction | Méthodes | Limite de détection |
|---|---|---|---|---|---|
| Paraquat | Très forte | Reflux acide à chaud avec acide sulfurique concentré | 70 % | EAM | 0,13 mg/g de kaolin |
| Chlorfenvinphos | 75 % | Acétonitrile | 93 % | HPLC-DAD | 4,30 µg/g de kaolin |
| Carbofurane | 50 % | Non connu | Non connu | HPLC-DAD | Non connu |
| Méthylmercure | Élevée avec certains dépôts | Dichlorométhane-hexane sur un dépôt acidifié de lixiviat | 15-66 % | GC-HRMS | Biofilm 8 ng/L<br>Dépôts ferreux 1,7-2,9 ng/g de dépôts secs |

EAM : spectroscopie d'absorption moléculaire ; se reporter au *tableau VI* pour les autres abréviations.
**Tableau VII. Produit chimique testé, limites de détection dans les dépôts/biofilms**

Les procédures analytiques développées sont trop complexes pour une réponse rapide en cas d'urgence. Néanmoins, la quantification des produits chimiques adsorbés sur les dépôts et les biofilms n'est pas une question d'urgence, mais une nécessité par rapport à l'élimination des déchets après la détection d'une contamination. En ce sens, les méthodologies développées sont en conformité avec les objectifs du projet.

Dans la mesure où certains produits chimiques sont fortement adsorbés aux dépôts (selon la nature du polluant et du dépôt), des techniques d'extraction sont nécessaires (*tableau VII*). Les rendements d'extraction dépendent en grande partie du couple contaminant/dépôts, ce qui rend *a priori* toute prédiction impossible. Comme le montre le *tableau VII*, les limites de détection des méthodes analytiques appliquées aux molécules adsorbées sur les dépôts sont beaucoup plus élevées que lorsque l'analyse est effectuée dans la phase aqueuse.

### 2.2.2. Les agents biologiques

Les analyses des contaminants biologiques devraient permettre de détecter de faibles niveaux de bactéries pathogènes, y compris pour les espèces formant des spores, et de fournir une mesure de leur pouvoir infectieux de sorte que le risque pour la santé publique puisse être évalué.

Deux grandes catégories de méthodes ont été appliquées (*tableau VIII*) :

– des méthodes de biologie moléculaire qui donnent des informations sur la présence/absence de micro-organismes indésirables, mais ne donneront aucune information sur leur viabilité et/ou leur pouvoir infectieux ;

– la détermination de la viabilité, *via* des méthodes telles que PMA-qPCR et DVC-PNA-FISH, avec des limites de détection acceptables dans l'eau.

Les limites de détection des méthodes à base de microscopie (PNA-FISH et DVC-PNA-FISH) peuvent

| Bactérie cible | Limite de détection dans l'eau (cellules/mL) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PNA-FISH | DVC-PNA-FISH | qPCR | PMA-qPCR |
| *Escherichia coli* O157:H7 | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | 1 | 1 |
| *Bacillus cereus* E33L (substitut de *B. anthracis*) | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | 10 | – |
| *Francisella tularensis* subsp. *novicida* | – | – | 5 | 5 |
| *Francisella philomiragia* (substitut de *F. tularensis*) | – | – | 1 | 1 |
| *Yersinia pestis* | Non testé | Non testé | 5 | 5 |
| *Yersinia pseudotuberculosis* (substitut de *Y. pestis*) | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | 20 | 20 |

PNA : acide nucléique peptidique ; FISH : hybridation *in situ* en fluorescence ; DVC : comptage direct des bactéries viables *(direct viable count)* ; qPCR : réaction en chaîne quantitative par polymérase ; PMA : monoazoture de propidium.
**Tableau VIII. Limites de détection dans l'eau pour les bactéries cibles testées**

| Bactérie cible | Limite de détection dans les dépôts (cellules/g) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PNA-FISH | DVC-PNA-FISH | qPCR | PMA-qPCR |
| *Escherichia coli* O157:H7 | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^1$ | $3 \times 10^2$ |
| *Bacillus cereus* E33L (substitut de *B. anthracis*) | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^2$ | – |
| *Francisella tularensis* subsp. *novicida* | – | – | $1{,}1 \times 10^3$ * | $1{,}1 \times 10^3$ * |
| *Francisella philomiragia* (substitut de *F. tularensis*) | – | – | $3{,}3 \times 10^1$ | $3{,}3 \times 10^1$ |
| *Yersinia pestis* | Non testé | Non testé | $1{,}1 \times 10^4$ * | $1{,}1 \times 10^4$ * |
| *Yersinia pseudotuberculosis* (substitut de *Y. pestis*) | $1{,}7 \times 10^6$ | $1{,}7 \times 10^6$ | $5 \times 10^3$ | $5 \times 10^3$ |

*Concentration la plus basse testée. Se reporter au *tableau VIII* pour la signification des abréviations.

**Tableau IX. Limites de détection dans les dépôts pour les bactéries cibles testées**

être améliorées avec de gros volumes d'échantillons (les valeurs ci-dessus sont basées sur des échantillons de 1 mL) ou à l'aide d'un système automatisé qui permet d'évaluer l'ensemble de la membrane filtrante.

Pour les mesures dans les biofilms/dépôts, aucune des méthodes développées ne permet la détermination précise du nombre de micro-organismes.

Comme mentionné précédemment, les limites de détection des méthodes à base de microscopie (PNA-FISH et DVC-PNA-FISH) peuvent être améliorées avec de gros volumes d'échantillons ou l'utilisation de systèmes automatisés. Toutefois, dans le cas d'échantillons de dépôts, des précautions doivent être prises pour limiter l'autofluorescence de particules. La limite de détection varie alors selon la composition du dépôt.

En outre, il est difficile de fixer des limites de détection des méthodes de qPCR en raison de la composition des dépôts (par exemple, l'extraction d'ADN peut se révéler difficile avec les acides humiques).

Il apparaît donc que seules les méthodes de biologie moléculaire sont utiles pour la détection de micro-organismes pathogènes dans les dépôts.

Cependant, de nombreuses interférences conduisent à un seuil de détection élevé dans les dépôts. La méthode PNA-FISH, qui peut paraître moins sensible, l'est plus que la méthode qPCR.

Enfin, le *tableau XI* présente le temps nécessaire pour chaque type d'analyse et décrit si la méthode peut évaluer la viabilité bactérienne.

| Bactérie cible | Limite de détection dans les biofilms (cellules/cm²) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PNA-FISH | DVC-PNA-FISH | qPCR | PMA-qPCR |
| *Escherichia coli* O157:H7 | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^1$ | $2 \times 10^1$ |
| *Bacillus cereus* E33L (substitut de *B. anthracis*) | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^2$ | – |
| *Francisella tularensis* subsp. *novicida* | – | – | 2 | 2 |
| *Francisella philomiragia* (substitut de *F. tularensis*) | – | – | 4 | 4 |
| *Yersinia pestis* | Non testé | Non testé | 2 | 2 |
| *Yersinia pseudotuberculosis* (substitut de *Y. pestis*) | $2 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $5{,}5 \times 10^1$ | $5{,}5 \times 10^1$ |

Se reporter au *tableau VIII* pour la signification des abréviations.

**Tableau X. Limites de détection dans les biofilms pour les bactéries cibles testées**

| Méthodes employées | Temps nécessaire pour avoir des résultats | Informations obtenues |
|---|---|---|
| PNA-FISH | 2-3 h | Nombre total de bactéries cibles |
| PNA-DVC-FISH | 16 h | Nombre total et viabilité des bactéries cibles |
| qPCR | 2-3 h | Nombre total de bactéries cibles |
| PMA-qPCR | 4 h | Nombre total et viabilité des bactéries cibles |

Se reporter au *tableau VIII* pour la signification des abréviations.
**Tableau XI. Temps nécessaire en fonction de la méthode employée**

En résumé, le nombre de cellules totales peut être déterminé rapidement, ce qui est essentiel pour la confirmation rapide d'une contamination. La quantification de la viabilité cellulaire prend en revanche plus de temps.

### 2.2.3. Radionucléides

Une gamme de méthodes radiologiques rapides et sensibles, hors ligne, a été choisie et adaptée pour être en mesure de confirmer l'intrusion ou la présence de radionucléides dans les réseaux d'eau potable (eau et dépôts). Chaque méthode a été choisie pour sa robustesse et sa précision pour quantifier des radionucléides alpha, bêta et gamma, isolément ou collectivement (cobalt 60, strontium 90 + yttrium 90, iode 131, césium 137, iridium 192, polonium 210, radium 226, américium 241, californium 252).

À titre d'exemple, des méthodes de comptage par scintillation liquide, couplées à l'analyse spectrale et à des traitements acides simples des biofilms et des dépôts (pour les dissoudre) se sont révélées efficaces. La technique permet de détecter des radionucléides « cibles » avec des limites de détection inférieures à 1 Bq/g, le temps de préparation et de comptage prenant au total moins de trois heures.

## 2.3. Nettoyage des parois et décontamination

La stratégie globale proposée dans SecurEau est d'effectuer un nettoyage *in situ* (c'est-à-dire à l'intérieur du tuyau), puis d'évacuer la boue générée hors du réseau pour un traitement ultérieur. Selon la méthode utilisée, des risques existent d'endommagement des tuyaux (si le nettoyage est trop intensif) ou de contamination du sous-sol. Les limitations des méthodes actuellement utilisées pour le nettoyage des systèmes de distribution d'eau potable ont été prises en compte et des solutions simples mais efficaces pour traiter une contamination de composés CBRN adsorbés sont proposées. Certaines méthodes ne sont applicables pour l'instant qu'à l'échelle du laboratoire, d'autres l'ont été à l'échelle pilote, voire directement sur un ancien réseau d'eau potable abandonné. Il était également important que les nettoyages ne nécessitent pas de compétences d'experts extérieurs dans la mesure où le premier travail de nettoyage sera effectué par le personnel de la compagnie des eaux.

La persistance des contaminants dans les tuyaux et les dépôts, le recyclage de l'eau contaminée et l'exposition des équipes d'urgence aux contaminants sont les principaux défis relevés.

### 2.3.1. Contamination par des micro-organismes

Bactéries, virus, spores, ont été utilisés comme modèles de contaminants pour tester les méthodes de décontamination *(tableau XII)*.

La chloration choc (200 mg/L de chlore libre pendant 3 heures, pH ajusté à 6) sur des spores de *B. subtilis* a montré 5 $\log_{10}$ d'inactivation de ces spores (99,999 % d'inactivation) dans la phase eau, le biofilm restant présent. Pour les bactéries non sporulantes, cette chloration choc est efficace à la fois dans l'eau et dans le biofilm (plus de cultivabilité ni de viabilité bactérienne, vérification faite par exemple avec la méthode FISH-DVC).

Des essais de cavitation par ultrasons pour détacher les spores des surfaces vers la phase aqueuse, suivis par une désinfection, apparaissent trop coûteux à utiliser en cas de contamination du système de distribution. En revanche, l'alternance d'un ajout de chlore libre (200 mg/L) et d'hydroxyde de sodium (1,5 %) est très intéressante pour l'élimination des spores libres et fixées.

| Méthode | Principe | Cible | Efficacité |
|---|---|---|---|
| Chloration choc (valeur du CT = 30000 mg·min/L) ; 6 à 10 mg/L pendant 24 heures | Ajout d'un oxydant à forte concentration et long temps de contact puis rinçage | Spores de *Bacillus subtilis* ; *Yersinia pestis* ; *Y. pseudotuberculosis* ; *Francisella tularensis* ; *Francisella philomiragia* ; Adénovirus | Diminution de 5 $\log_{10}$ de spores après 3 h de chloration. La plupart des cellules meurent |
| Alternance de chloration et de traitement alcalin | Alternance NaClO→NaOH→NaClO et long temps de contact puis rinçage | Spores de *Bacillus subtilis* adsorbées à la paroi | Après la 1re chloration (3 h), diminution de 90 % du nombre de spores formant colonies sur milieu R2A. Après la 2e chloration (NaOH ajoutée entre-temps), baisse de 99 % du nombre de spores |
| Réaction de Fenton | Procédé d'oxydation avancée en présence de cuivre ou de fer et d'acide ascorbique, ou de $H_2O_2$ comme catalyseurs | Spores de *Bacillus subtilis* ; biofilm autochtone | Pas de correction de pH nécessaire (avec le cuivre et l'acide ascorbique) |
| Acide peracétique (5 mg/L) | Ajout de la solution d'acide peracétique directement dans le réseau | *Y. pseudotuberculosis* ; Adénovirus | Élimination de 50 % des bactéries (par qPCR) du biofilm en 2 h. Élimination de 2,5 log des virus du biofilm en 1 h, élimination totale en 24 h |

**Tableau XII. Techniques de décontamination préconisées après une contamination biologique**

Enfin, le procédé d'oxydation avancée (oxydation par réaction avec les radicaux hydroxyles et le fer ou le cuivre naturellement présent dans le réseau) a montré d'excellents résultats pour inactiver les spores de *B. subtilis* dans l'eau et les bactéries indigènes du biofilm.

### 2.3.2. Contamination par des composés chimiques organiques

Le paraquat (pesticide soluble : 620 g/L), le chlorfenvinphos (insecticide organophosphoré peu soluble dans l'eau : 145 mg/L), le carbofurane (insecticide peu soluble dans l'eau : 700 mg/L) et le BDE-100 (pentabromodiphényl éther, retardateur de flamme bromé insoluble dans l'eau) ont été utilisés comme substances modèles de contaminants organiques dans SecurEau. Pour respecter la stratégie de nettoyage *in situ*, nous avons testé la réaction de Fenton. Afin de réduire les quantités de réactifs utilisés dans le procédé et pour limiter la formation de boues, nous avons testé l'utilisation du fer ou d'oxydes de fer provenant des parois de réseaux d'eau potable (quatre dépôts de différentes compositions chimiques testés). Les résultats (*tableau XIII*) ont montré que certains dépôts peuvent être utilisés comme catalyseurs dans

| Principe | Action sur… | Efficacité | Limites |
|---|---|---|---|
| Oxydation avancée avec des sels de fer (catalyseur) et du peroxyde d'hydrogène (oxydant) | Chlorfenvinphos adsorbé sur des dépôts (kaolin) | Une heure nécessaire pour oxyder complètement le pesticide dans la phase aqueuse | Plus de temps nécessaire pour oxyder le produit adsorbé. Un pH acide améliore l'efficacité de la dégradation |
| Oxydation avancée avec des dépôts ou des sels de fer (catalyseur) et du peroxyde d'hydrogène (oxydant) | Paraquat | Des tuyaux en acier augmentent l'oxydation. L'ajout graduel de peroxyde d'hydrogène améliore l'efficacité d'oxydation. Huit heures ont suffi pour dégrader tous les pesticides | Un pH acide améliore l'efficacité de la dégradation |

**Tableau XIII. Réaction de Fenton appliquée sur des contaminants organiques**

la peroxydation du paraquat, même si les rendements de dégradation les plus élevés sont atteints pour un pH de l'eau égal à 3,0.

Pour le paraquat, un degré de minéralisation maximal de 60 % a été atteint (réaction de Fenton pendant 240 minutes) alors qu'il est de 35 % et 52 % respectivement pour le chlorfenvinphos et le carbofurane.

### 2.3.3. Contamination par des composés chimiques inorganiques

Le mercure a été utilisé comme substance modèle de contaminant inorganique dans SecurEau et plusieurs méthodes de décontamination ont été testées (chasses avec de l'eau chlorée ou non ; arrachage de surface avec de la glace...) *(tableau XIV)*. Les résultats ont montré que sur des matériaux de canalisations lisses (comme le polyéthylène réticulé PEX) la grande partie du mercure est adsorbée à la surface du biofilm. L'élimination du biofilm entraîne alors la majeure partie du mercure, entre 58 à 92 %. Sur des tuyaux en fonte corrodée, les essais de décontamination sont nettement moins efficaces dans la mesure où 40 % du mercure est lié dans les couches profondes de la surface corrodée après seulement 2 heures d'incubation.

### 2.3.4. Contamination par des radionucléides

Certains radionucléides peuvent s'adsorber fortement à la surface des tuyaux (fonte, par exemple) et doivent donc être d'abord désorbés avant traitement. Différents produits de désorption ont été testés – acétate de calcium, bicarbonate de sodium, citrate de sodium, acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA) et hypochlorite de sodium – sur plusieurs radionucléides (américium, polonium, radium) sur différents types de tuyaux – acier inoxydable, polychlorure de vinyle (PVC), polyéthylène haute densité (PEHD), polypropylène – et sur des dépôts réels.

Le bicarbonate de sodium est le produit chimique le plus efficace pour la désorption du $^{210}$Po et du $^{241}$Am. Comparé aux autres désorbants, il est aussi le moins cher et le plus sûr à utiliser. Par contre, la sorption du $^{90}$Sr, $^{210}$Po ou $^{241}$Am sur des dépôts provenant de tuyaux de réseaux de distribution est difficile. Cela n'a été possible qu'en travaillant à pH < 2,5, rendant alors la désorption impossible dans nos conditions opératoires.

## 2.4. Vérification de la décontamination

La vérification de la stratégie de décontamination passe des analyses physico-chimiques réalisées à la fois dans l'eau (techniques connues, maîtrisées et détaillées selon le contaminant en 2.2), mais également sur les dépôts, ce qui nécessite d'être capable de prélever suffisamment de dépôts, mais également d'être capable de quantifier le contaminant (avec les difficultés liées aux interférences, § 2.2). Les coupons sentinelles sont un outil potentiel permettant un échantillonnage rapide et efficace des dépôts sur les parois.

| Méthode | Principe | Action sur... | Efficacité | Limites |
|---|---|---|---|---|
| Chasses d'eau chlorée (10 mg/L chlore pendant 1 heure) | Chasses d'eau | Mercure adsorbé sur biofilm sur tuyau en PEX | Élimination de 82 % du mercure adsorbé | Augmenter la durée de la chasse pour améliorer la désorption du mercure, travailler à pH acide |
| Arrachage mécanique des couches de corrosion contaminées | Mélange d'eau et de cubes de glace | Mercure adsorbé sur tuyau en fonte corrodée | Élimination de 60 % du mercure adsorbé | Le mercure n'est pas enlevé des parties plus profondes du tuyau. Augmenter les forces de cisaillement est nécessaire |
| Arrachage mécanique des couches de corrosion contaminées | Chasses air+eau ou eau+glace ou eau+gravier | Mercure adsorbé sur tuyau de différentes natures | Chasses air+eau (technologie Comprex) à 15 à 20 m/s élimine 99 % des biofilms, et jusqu'à 99,999 % avec ajout de glace | Plus les forces de cisaillement sont élevées, meilleure est l'élimination des biofilm + dépôts. Les incrustations restent très difficiles à arracher |

**Tableau XIV. Techniques appliquées sur le mercure (contaminant inorganique)**

## Conclusions

Le projet européen SecurEau a permis, au travers 4 années de recherche et le travail de 12 partenaires de six pays, d'obtenir des avancées majeures en ce qui concerne :

– la mise au point de capteurs de la qualité de l'eau (capteurs spécifiques et non spécifiques, dont certains sont déjà commercialisés et d'autres en phase d'industrialisation) ;

– le développement de modèles mathématiques (pour positionner de façon optimale et préventive les capteurs, pour identifier le point source de la contamination et la zone contaminée), modèles mis à la disposition de la communauté utilisatrice ;

– l'amélioration de méthodes analytiques pour identifier et quantifier des contaminants biologiques, physico-chimiques et radionucléides, à la fois dans la phase aqueuse, mais également dans les dépôts, moyennant une augmentation de la limite de détection dans ce dernier cas ;

– l'amélioration de méthodes de nettoyage du réseau, mais surtout de développement de nouvelles stratégies de nettoyage de réseaux contaminés par la combinaison de plusieurs méthodes, dépendant de la nature de la contamination (biologique, chimique, radionucléide) et de sa localisation ;

– la proposition d'un outil d'aide à la décision permettant de valider une décontamination réussie ;

– le test et la validation sur le terrain (soit en pilotes de taille industrielle, soit sur des réseaux d'eau potable grandeur nature) des outils et méthodes développés et listés ci-dessus.

## Remerciements

Les actions de recherche présentées ci-dessus ont bénéficié du financement de la Communauté européenne dans le cadre du septième programme cadre (FP7/2007-2011) en vertu de la convention de subvention n° 217976.

Résumé

**S. FASS, J.-C. BLOCK**

**SecurEau : sécurité et décontamination d'un réseau d'eau potable**

Dans le cadre du 7e programme cadre de recherche et développement et de l'action clef « sécurité », la Commission européenne a retenu le projet SecurEau visant à restaurer rapidement et en toute sécurité la fonctionnalité des réseaux de distribution d'eau après leur contamination malveillante par des contaminants chimiques, biologiques, radiologiques ou nucléaires (CBRN) (et par extension toutes contaminations accidentelles). L'objectif était de donner aux autorités et aux opérateurs des outils et des procédures nouvelles permettant de gérer la situation de crise générée par la contamination du système (selon les trois phases définies par la future norme ISO 11830). Au cours de ce projet, nous avons agi sur plusieurs fronts :

- développer des outils de surveillance en continu (capteurs génériques) et logiciels associés permettant de détecter toute variation anormale des caractéristiques des eaux distribuées ;
- adapter des méthodes analytiques de détection des contaminants CBRN dans l'eau ou de ceux associés aux dépôts et parois des biofilms ;
- élaborer des programmes et logiciels pour identifier l'origine du ou des point(s) de contamination et l'extension probable de la zone contaminée ;
- et enfin optimiser les moyens de nettoyage et de désinfection, en particulier des parois (surfaces par définition peu accessibles et difficiles à nettoyer du fait de la présence de dépôts et biofilms).

Trois principaux groupes de résultats ont été obtenus au cours du projet SecurEau :

- le développement d'un nouveau système d'alerte précoce (*early warning system*) associant la mise au point d'une nouvelle série de capteurs génériques (Kapta, société Endetec), de modèles mathématiques permettant d'optimiser le positionnement de ces capteurs sur le réseau et de systèmes de traitement de l'ensemble des données collectées toutes les 5 minutes (plusieurs centaines de milliers de données générées par jour). Une démonstration en grandeur réelle (pour la première fois en Europe) a été réalisée en 2012 dans le cadre de SecurEau sur deux réseaux de Londres (urbain et semi-urbain). Les trois capteurs nouveaux issus de ce programme sont : Kapta 3000 AC4 (conductivité, température, chlore, pression) ; Kapta 3000 OT3 (matière organique par UV à 254 nm) et le prototype du CEA : Kapta 3000 RAD1, pour les radionucléides de type américium, césium et cobalt ;
- de nouveaux programmes d'ingénierie mathématique (code source en C et code Matlab disponibles) pour traiter l'information des capteurs et

localiser rapidement la (les) source(s) de la contamination et définir l'étendue de la zone contaminée. Ces nouveaux modèles couplés avec des modèles hydrauliques (EPAnet, par exemple) permettent une action ciblée des opérateurs sur la zone contaminée ;
– la mise au point de nouvelles méthodes et de solutions pour le nettoyage des réseaux de distribution (incluant l'eau et surtout les parois de la canalisation, faites de matériaux très diversifiés et toujours porteuses de biofilms, dépôts et produits de corrosion). Les combinaisons d'abrasion mécanique, d'oxydation puissante générée *in situ* et de flush sont les actions préconisées, en fonction de la nature du contaminant. Nous avons innové dans un travail de recherche associant la France, la Lettonie et le Portugal sur les procédés d'oxydation avancée (Fenton hétérogène) applicables sur site en conditions respectueuses/durables des matériaux de distribution.


Abstract

**S. FASS, J.-C. BLOCK**

## Security and decontamination of drinking water distribution systems following a deliberate contamination

The contamination of drinking water infrastructures (catchment areas, raw water transfer systems, treatment facilities, treated water reservoirs and distribution networks) with CBRN (chemical, biological, radionuclides) as a result of malevolent acts of sabotage represents one of the major threats that security has to face with. Rapidly restoring the functionality of such infrastructures, and the access to safe drinking water represents another major concern for regulatory agencies and water utilities. Indeed, the damage resulting from impairment of drinking water services would seriously impact the quality of life of many people not only by directly harming them but also making water systems unusable for a long period of time with a risk of societal disorder (similar situation as with any accidental contamination events or natural disasters).
Such accidental or malevolent contamination events determine a crisis situation, which affects or is likely to affect a water utility or its provided services, and require more than the usual means of operation and/or organisational structures to deal with it. The ISO 11830 standard on crisis management describes the fundamentals of a crisis management system. ISO 11830 provides general guidance on how a crisis should be dealt with ("crisis phase"), on how to re-establish services (post-crisis phase), and on the best way to draw conclusions and revise procedures for future events.

A large number of "preventive" actions have to be taken/implemented on a routine basis before the crisis, and recovery activities can start during the crisis phase. At the same time, specific scenarios for supplying potable waters (distribution of bottled waters, water tankers, emergency water treatment mobile systems, and so on) also have to be developed. In this context, SecurEau (a European project for restoring distribution system functionality after deliberate CBRN attacks involving 12 partners from six countries) has defined four research and development objectives:
– tools for detecting water quality changes by combining generic non-specific and specific sensors for measuring unexpected / abnormal signal variations (and to be integrated in an Early Warning System) ; methods for identifying the best locations for sensors for full coverage monitoring ; methods for treating the data collected every five minutes by the network of sensor;
– methods for rapidly identifying the source(s) of any intentional contamination thanks to accurate mathematical procedures and new software;
– multi-step strategies for cleaning distribution systems: pipe walls / biofilms / deposits and waste (water bulk and deposits extracted from the network);
– analytical methods for confirming cleaning procedure efficiency taking into account especially the pipe walls.