



**DÉVELOPPEMENT ET VALIDATION D'UN MODÈLE POUR PRÉDIRE LES CONCENTRATIONS DE PLOMB  
DANS L'EAU POTABLE MUNICIPALE**

---

JOSE HERRERA, UNIVERSITÉ WESTERN

*Recherche réalisée de 2012 à 2015*



Réseau  
canadien  
de l'eau

## POURQUOI AVONS-NOUS RÉALISÉ CETTE RECHERCHE?

Dans les collectivités canadiennes où l'approvisionnement en eau se fait encore dans des canalisations en plomb, les concentrations élevées de plomb dans l'eau potable constituent une grave menace pour la santé publique. Le plomb est un métal lourd toxique et les tuyaux contenant du plomb peuvent laisser échapper cet élément dans l'eau. Ce relargage se produit avec le temps lorsqu'il y a corrosion ou simplement par la perturbation mécanique des tuyaux lors des activités d'entretien ou de remplacement. Au cours du siècle dernier, des preuves solides ont établi des liens entre les problèmes de développement cognitif chez les enfants et leur exposition au plomb pendant l'enfance. Jusqu'à présent, on n'a pu déterminer de seuil sûr de plomb dans le sang permettant d'éviter les effets néfastes de ce métal lourd sur le développement neurologique des enfants. De plus, de récentes études sur les liens entre les taux de plomb dans le sang humain chez les enfants et l'exposition au plomb par le biais de l'eau potable ont suscité la réapparition des inquiétudes quant aux problèmes associés à la contamination au plomb due aux modifications apportées aux réseaux d'approvisionnement en eau potable.

Ces inquiétudes ont donné lieu à la mise en place de directives provinciales plus strictes quant aux concentrations maximales de plomb permis dans l'eau potable et quant à la surveillance des taux de plomb dans l'eau potable des collectivités canadiennes. Ces directives sont associées à de nouveaux coûts dont les services publics devront tenir compte dans leur planification, comme la surveillance du plomb et la mise en œuvre et l'évaluation de stratégies de contrôle de la corrosion dans les canalisations actuelles contenant du plomb. Puisque le remplacement des canalisations urbaines est coûteux et puisque l'entretien et le remplacement de tuyaux en plomb dans les maisons privées demeurent la responsabilité des propriétaires, il risque d'y avoir présence de tuyaux en plomb pour encore plusieurs décennies et il importe donc de trouver des façons de contrôler la contamination de l'eau potable par le plomb.

La présence de plomb dans l'eau potable a été imputée à la déstabilisation de la couche corrodée (incrustations de corrosion) présente sur les parois internes des tuyaux en plomb. Le relargage du plomb dans l'eau potable peut aussi se produire d'autres façons, mais il s'agit de la principale source. La déstabilisation des incrustations peut être physique (changements du débit, fréquence de l'utilisation de l'eau, perturbation mécanique) ou chimique (changements dans la composition de l'eau qui circule dans les tuyaux, comme le genre de désinfectant utilisé). Tous ces changements peuvent éventuellement mener à la dissolution du plomb (sous forme aqueuse ou de particules) et à des concentrations de plomb qui sont supérieures au seuil d'intervention au point d'utilisation. Pour comprendre et contrôler le phénomène de dissolution du plomb dans l'eau potable, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des interrelations entre la chimie de l'eau brute (à la source d'approvisionnement), les paramètres de qualité de l'eau traitée, les traitements possibles et les réactions chimiques dans le réseau de distribution de l'eau.

Le présent projet (2012-2015) visait à évaluer les variables interreliées qui contrôlent la déstabilisation des incrustations contenant du plomb et à utiliser ces connaissances pour développer un modèle numérique permettant de prédire la dissolution du plomb dans les réseaux de distribution de l'eau.

## QU'AVONS-NOUS FAIT?

Nous avons étudié la composition chimique de la couche de corrosion présente dans les incrustations à la surface interne des tuyaux, comme première étape pour prédire la dissolution du plomb et pour développer des stratégies efficaces de contrôle de cette dissolution. Il s'agit là d'une étape essentielle, puisque l'on sait que c'est l'interaction chimique entre la composition de l'eau qui s'écoule dans les tuyaux et la couche corrodée qui régule la dissolution du plomb. Nous avons retiré des tuyaux en plomb de trois différentes municipalités canadiennes pour prélever des incrustations et nous avons construit des boucles de tuyaux. Nous avons utilisé une vaste gamme de techniques analytiques sophistiquées pour étudier les couches corrodées prélevées :

- Les questions structurales examinées incluaient la distribution des différentes espèces chimiques présentes dans la couche corrodée et la composition du profil de profondeur.
- L'analyse chimique des incrustations visait à identifier les espèces cristallines présentes afin de pouvoir comprendre les mécanismes de leur formation d'après les données historiques de qualité de l'eau.



Ces techniques structurales et chimiques ont été essentielles pour déterminer comment les structures chimiques de base et la morphologie en surface influencent la dissolution du plomb selon divers scénarios de qualité de l'eau.

Les principaux mécanismes qui contrôlent le relargage du plomb dans l'eau potable sont l'agression (production de microparticules par dissolution des incrustations corrodées), la dissolution (dissolution chimique dans l'eau du plomb minéral présent dans les incrustations) et la corrosion (processus chimiques impliquant un échange d'électrons). Ces trois mécanismes, combinés à la composition chimique complexe de la couche corrodée de plomb, à la qualité de l'eau et aux fluctuations du débit d'eau, font en sorte qu'il est extrêmement difficile de prédire la dissolution du plomb, étant donné les relations complexes entre tous les paramètres susmentionnés. Pour évaluer les facteurs individuels menant à la dissolution du plomb, nous avons effectué des expériences contrôlées en utilisant les incrustations corrodées recueillies dans les tuyaux en plomb que nous avons déterrés, de même que des phases pures et non altérées de plomb achetées de fournisseurs de produits chimiques.

Nous avons effectué une analyse chimique détaillée des incrustations et des composés de plomb pur avant et après leur exposition à diverses conditions d'eau.

Cela a permis de clarifier la structure et la stabilité du plomb et les changements chimiques qui se produisent pendant la dissolution. Ces expériences nous ont fourni une partie des données nécessaires pour développer un modèle numérique, toutefois elles ne prennent pas en compte les effets de la stagnation et des débits de l'eau sur la dissolution du plomb – effets qui doivent être dissociés des paramètres chimiques visés dans le cadre de l'analyse chimique. Nous avons utilisé deux méthodes pour surveiller l'effet de la stagnation et des débits : des expériences dans des boucles de tuyaux et une analyse des données historiques sur la qualité de l'eau sur le terrain. Les essais dans les boucles de tuyaux ont été conçus afin de surmonter les difficultés associées à l'usage de réseaux entiers de distribution d'eau pour évaluer la dissolution du plomb dans le réseau d'eau potable. Nos consultations avec nos partenaires municipaux et les résultats d'expériences préliminaires nous ont permis d'ajuster les conditions expérimentales dans les boucles de tuyaux.

Les données recueillies ont servi à développer et à valider un modèle numérique pour simuler la dissolution du plomb dans les réseaux de distribution d'eau. La comparaison entre les prévisions du modèle et les résultats expérimentaux a fourni un éclairage important permettant de préciser encore plus le modèle. La capacité du modèle à prédire la corrosion a été validée en comparant les résultats de la simulation et les observations des variations de la chimie de l'eau et des changements dans la composition des incrustations de plomb. Cette plateforme de modélisation permet aux utilisateurs (comme les gestionnaires des services d'eau et les responsables de la réglementation) d'étudier les causes de concentrations élevées actuelles de plomb, de prédire les réductions des concentrations de plomb après les modifications apportées au système et – pour les collectivités qui n'ont actuellement pas de problème de concentration excessive de plomb – de prévoir des changements dans les concentrations de plomb associés à une modification planifiée des opérations.

## QU'AVONS-NOUS CONSTATÉ?

Divers facteurs influencent la formation et la transformation d'incrustation solide de plomb responsable du relargage de plomb dans l'eau potable, notamment la qualité de l'eau et l'historique des changements survenus dans le système de distribution d'eau potable, comme des changements dans la source d'approvisionnement en eau, ou des modifications au traitement de l'eau. La variabilité dans les canalisations d'un même réseau est probablement due aux différences dans les conditions locales, comme la fréquence d'utilisation, l'état des connexions des tuyaux et l'âge des conduites. De plus, dans certaines collectivités, les concentrations totales de plomb dans l'eau potable semblent être fonction des particules de plomb et non du plomb chimiquement dissous. Ces résultats montrent que pour développer une stratégie plus efficace de contrôle de la corrosion, il faut procéder à une enquête exhaustive des problèmes de corrosion propres à chaque système de distribution d'eau.

Grâce à l'analyse détaillée de la composition et des changements des couches de corrosion dans les tuyaux de plomb, nous avons pu déterminer que les phases de carbonate de plomb étaient la composante principale des incrustations solides recueillies des sites d'échantillonnage. Cette phase de carbonate de plomb peut être transformée en oxyde de plomb, en passant par une phase intermédiaire. D'après la chimie minérale, on s'attendait à ce que la phase d'oxyde de plomb soit le produit final dans la dissolution de la phase intermédiaire sous des conditions normales de qualité de l'eau potable (c.-à-d. en présence d'un désinfectant chloré). Cependant, les concentrations finales



Figure 1 : Enlèvement des canalisations en plomb aux fins de l'étude (Photo : Dan Huggins, ville de London)

de plomb dissous observées dans le processus de dissolution étaient régulées par la formation de carbonate de plomb et non d'oxyde de plomb.

Des études antérieures ont attribué les concentrations élevées de plomb dissous dans l'eau potable à la dissolution du dioxyde de plomb (provoquée par le remplacement du désinfectant de l'eau par des chloramines). Toutefois, les résultats du présent projet montrent que les concentrations de plomb devraient demeurer faibles dans de telles conditions – sous le seuil d'intervention (10 µg/L). Cela indique que la présence d'autres éléments dans l'eau potable, comme de la matière organique naturelle ou d'autres ions métalliques, joue un rôle dans la transformation et la dissolution des espèces de plomb.



## QU'EST-CE QUE CES CONSTATATIONS SIGNIFIENT POUR LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE?

L'ajustement de la qualité de l'eau est la principale composante d'une stratégie de contrôle de la corrosion du plomb. Les résultats du présent projet confirment que cette approche est efficace puisque les concentrations de plomb dans l'eau potable sont principalement régulées par des processus chimiques aqueux survenant dans les incrustations solides se formant à l'intérieur des tuyaux en plomb. Cependant, cette recherche indique que le lien direct préalablement établi entre les taux de chloration et les concentrations finales de plomb pourrait ne pas s'avérer directement corrélé dans tous les scénarios. Ce constat est pertinent pour les gestionnaires de services d'approvisionnement en eau potable, puisqu'il indique que les stratégies de contrôle de la corrosion doivent prendre en compte la présence d'autres composés chimiques dans l'eau potable, comme de la matière organique naturelle ou d'autres ions métalliques dissous.

Les stratégies de contrôle de la dissolution du plomb doivent aussi tenir compte de la chimie des minerais de plomb et les tendances dans le réseau de distribution (comme l'année d'installation des conduites, le taux de consommation d'eau dans les logements individuels). Par exemple, si l'on développe une stratégie qui ne tient compte que de la qualité de l'eau, il pourrait tout de même y avoir relargage de plomb dans l'eau si celle-ci stagne dans une conduite d'approvisionnement en plomb pendant une longue période. Les concentrations de plomb dans l'eau sont aussi souvent affectées par d'autres caractéristiques comme la température, le chlore libre résiduel et la présence d'autres concentrations de métaux. Par conséquent, les services d'approvisionnement en eau potable qui ont un programme de contrôle de la dissolution du plomb doivent comprendre les effets de tous ces paramètres sur les concentrations de plomb dissous chimiquement et des particules de plomb.

Ce projet de recherche renseigne les services publics d'eau du Canada sur les modifications au traitement de l'eau dans un système contenant des conduites en plomb, pour potentiellement minimiser les coûts tout en garantissant que la dissolution du plomb sera maintenue sous les normes prescrites. De plus, le nombre requis d'échantillons pour le plomb dans l'eau potable peut être réduit de 50 % si les échantillons satisfont certains critères (tels que décrits à l'Annexe 15.1 du Règlement 170/03 de la *Loi de 2002 sur la salubrité de l'eau potable*).

L'utilisation de l'outil de modélisation permettra de réduire significativement les coûts à long terme et, ultimement, d'accroître la salubrité de l'eau potable.



**POUR JOINDRE LE CHERCHEUR :  
RESEARCHSPOTLIGHT@CWN-RCE.CA.  
CONSULTEZ NOTRE RÉPERTOIRE DE PROJETS À  
WWW.CWN-RCE.CA**

#### ÉQUIPE DE RECHERCHE

JOSE HERRERA, Université Western

CLARE ROBINSON, Université Western

ONITA BASU, Université Carleton

JOHN BRAAM, Ville de London

DAN HUGGINS, Ville de London

IAN DOUGLAS, Université de Toronto, Ville d'Ottawa

ANDY CAMPBELL, Ville d'Ottawa

QUIRIEN MUYLWYK, CH2M HILL; AWWA Water Quality Division

SUSAN ATLIN, Operations Efficiency Group of Toronto

Water

DAVID SCOTT, Operations Efficiency Group of Toronto Water

CAROLYN DE GROOT, Huron and Elgin Regional Water Supply Division

#### PARTENAIRES

CH2M HILL

VILLE D'OTTAWA

VILLE DE LONDON

VILLE DE TORONTO

#### RÉFÉRENCES

1. HAYES, C., N.D. SKUBALA, « Is there still a problem with lead in drinking water in the European Union? », *Journal of Water and Health*, vol. 2009, no 7, p. 569-580.

2. BROWN, M.J. ET S. MARGOLIS, « Lead in Drinking Water and Human Blood Lead Levels in the United States », *National MMWR*, vol. 61, 10 août 2012.

3. SHIHU, S., L. SUIQING, Z. DONG, « Investigation and control strategies of lead concentration in drinking water distribution systems », *Proceedings of the International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, 26-28 juin 2010, p. 4151-4154.

4. GUO, D., C.I. ROBINSON, J.E.HERRERA\*, « The role of Pb(II) defects on the dissolution of PbO<sub>2</sub> under depleting chlorine conditions », *Environ. Sci. Technol.*, 2014, vol. 48, p. 12525-12532.

5. MOHAMMADZADEH, M. O. BASU, J.E. HERRERA, « Impact of Water Chemistry on Lead Carbonate Dissolution in Drinking Water Distribution Systems », *Journal of Water Resource and Protection*, 2015, vol. 7.5, p. 389-392.

6. KIM, E. J. ET J.E. HERRERA, « Characteristics of lead corrosion scales formed during drinking water distribution and their potential influence on the release of lead and other contaminants », *Environ. Sci. Technol.*, 2010, vol. 44, no 16, p. 6054-6061.

7. SCHOCK, M. R. ET R. GIANI, « In Oxidant/disinfectant chemistry and impacts on lead corrosion », *Proceedings of 2004 American Water Works Association Water Quality and Technology Conference*, 2004; 2004.

8. SCHOCK, M. R., K. SCHECKEL, M. DESANTIS, T.L. GERKE, « In Mode of occurrence, treatment, and monitoring significance of tetravalent lead », *Proceedings AWWA Water Quality Technology Conference*, Québec (Québec), 2005; 2005.

9. LIU, H., G.V. KORSHIN, J.F. FERGUSON, « Investigation of the kinetics and mechanisms of the oxidation of cerussite and hydrocerussite by chlorine », *Environ. Sci. Technol.*, 2008, vol. 42, no 9, p. 3241-3247.

10. NGUYEN, C. K., K.R. STONE, A. DUDI, M.A. EDWARDS, « Corrosive Microenvironments at Lead Solder Surfaces Arising from Galvanic Corrosion with Copper Pipe », *Environmental Science & Technology*, 2010, vol. 44, p. 7076-7081.

11. GIRONIMO, L. D., *Lead in Drinking Water Mitigation Strategy*, rapport du gestionnaire principal, Toronto Water. Janvier 2011.

12. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, « Ontario Takes Action to Address Lead In Water Acting on Expert Advice Will Keep Ontario Families Safe » <http://news.ontario.ca/archive/en/2007/06/07/Ontario-Takes-Action-To-Address-Lead-In-Water.html>; texte consulté le 12 décembre 2011.

13. KIM, E.J., J.E. HERRERA, D. HUGGINS, J. BRAAM, S. KOSHOWSKI, « Effect of pH on the concentrations of lead and trace contaminants in the drinking water: A combined batch, pipe loop, and sentinel home study », *Water Research*, 2011, vol. 45, p. 2763-2774.

GUO, DAOPING, CLARE ROBINSON ET JOSE E. HERRERA, « Mechanism of dissolution of minimum (Pb 3 O 4) in water under depleting chlorine conditions », *Corrosion Science*, 2016, vol. 103, p. 42-49.