



Le dépistage des sources de pollution microbienne dans les écosystèmes aquatiques :

état de la science et évaluation des besoins

Série de rapports
d'évaluation scientifique
de l'INRE rapport n° 7

et

rapport de la Série
d'ateliers sur les
sciences de l'eau et
les politiques



Environnement
Canada

Environment
Canada

Canada

Le dépistage des sources de pollution microbienne dans les écosystèmes aquatiques : état de la science et évaluation des besoins

Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE rapport n° 7 et rapport de la Série d'ateliers sur les sciences de l'eau et les politiques

Compte rendu de l'atelier

Council Chambers, Toronto Metro Hall
55 John Street, Toronto (Ontario)
Les 7 et 8 mars 2005

Directeurs de la publication :

Tom Edge - Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada
Karl Schaefer - Liaison S-T, Environnement Canada

Conférenciers et panélistes :

Nick Ashbolt - The University of New South Wales
Ted Bowering - City of Toronto
Renée Bowler - ministère de l'Environnement de l'Ontario
Roland Brousseau - Conseil national de recherches du Canada
Tom Edge - Environnement Canada, INRE
Vic Gannon - Agence de santé publique du Canada
John Griffith - Southern California Coastal Water Research Project
Charles Hagedorn - Virginia Tech
Valerie J. Harwood - University of South Florida
Todd Howell - ministère de l'Environnement de l'Ontario
Mike Jenkins - U.S. Department of Agriculture
Jim Maguire - Environnement Canada, INRE
Jiri Marsalek - Environnement Canada, INRE
Katrín Nagelschmitz - Agriculture et Agroalimentaire Canada
Norm Neumann - Provincial Laboratory for Public Health, Alberta
Pierre Payment - Institut national de la recherche scientifique
Will Robertson - Santé Canada
Paul Rochelle - Metropolitan Water District of Southern California
Don Stoeckel - U.S. Geological Survey
Stewart Sweeney - ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario
Ed Topp - Agriculture et Agroalimentaire Canada
Tim Van Seters - Toronto and Region Conservation Authority

Promoteurs de l'atelier

Environnement Canada - Institut national de recherche sur les eaux et Fonds de durabilité des Grands Lacs
Ministère de l'Environnement de l'Ontario - Division des normes et des sciences de l'environnement
City of Toronto - Water and Wastewater Services Division

Comité d'organisation de l'atelier

Tom Edge - Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada
Karl Schaefer - Liaison S-T, Environnement Canada
Todd Howell - Direction de la surveillance environnementale, ministère de l'Environnement de l'Ontario
Patrick Chessie - Water and Wastewater Services Division, City of Toronto
Sandra Kok - Fonds de durabilité des Grands Lacs, Environnement Canada
Will Robertson - Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Santé Canada
Diane Medeiros - Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Santé Canada
Vic Gannon - Direction générale de la santé de la population et de la santé publique, Santé Canada
Ed Topp - Sciences des sols et de l'environnement, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Pour obtenir d'autres exemplaires :

Division des liaisons Science et Technologies
Direction des stratégies en sciences et technologie
Direction des sciences et de la technologie
Environnement Canada
867, chemin Lakeshore, C.P. 5050
Burlington (Ontario) L7R 4A6
S&TLiaison@ec.gc.ca

ou

Tom Edge
Division de la recherche sur la protection
des écosystèmes aquatiques
Direction générale des sciences et de la
technologie, eau
Direction des sciences et de la technologie
Environnement Canada
867, chemin Lakeshore, C.P. 5050
Burlington (Ontario) L7R 4A6
tom.edge@ec.gc.ca

Pour voir une version html ou télécharger le document en format pdf, aller sur le site de l'INRE :
<http://www.inre.ca>

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Le dépistage des sources de pollution microbienne dans les écosystèmes aquatiques : état de la science et évaluation des besoins.

(Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE ; n° 7)

"Rapport de la Série d'ateliers sur les sciences de l'eau et les politiques".

"Directeurs de la publication: Tom Edge ... Karl Schaefer".

Pub. aussi en anglais sous le titre: Microbial source tracking in aquatic ecosystems. The State of the Science and an Assessment of Needs

Également disponible sur l'Internet.

Comprend des réf. bibliogr.: p.

ISBN 0-662-71448-2

No de cat.: En13-2/7-2006F

1. Pollution ponctuelle--Congrès. 2. Eau--Qualité--Évaluation biologique--Méthodologie--Congrès.
3. Polluants organiques de l'eau--Congrès. 4. Eau--Pollution bactérienne--Congrès. 5. Eau--Qualité--
Gestion--Canada--Congrès. I. Edge, Thomas A., 1960- II. Schaefer, Karl Alfred, 1963- III.
Institut national de recherche sur les eaux (Canada) IV. Coll.

TD424.4.C3M5214 2006

628.1'61

C2006-980056-1

Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE : <http://www.nwri.ca/publications/sars-f.html>

Série d'ateliers sur les sciences de l'eau et les politiques : <http://www.nwri.ca/sciencepolicy/ccme-workshop-f.html>

Ce rapport peut être cité comme suit :

Edge, T.A. et K.A. Schaefer (s. la dir. de). 2006. Le dépistage des sources de pollution microbienne dans les écosystèmes aquatiques : état de la science et évaluation des besoins. Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario). Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE – rapport n°7 et Série d'ateliers sur les sciences de l'eau et les politiques. 26 p.

Remerciements : Nous tenons à remercier Linda Gysbers et Jenn Dykeman, respectivement de l'Institut national de recherche sur les eaux et de la Ville de Toronto, pour leur aide dans l'organisation de l'atelier, ainsi que Leah Brannen et Kristin May pour la mise en forme des versions précédentes du présent document, et Grazyna Modzynski pour la mise en page du rapport.

Crédits photographiques : Photo.com, Tom Edge, Rob Phillips, Quintin Rochfort et Robert Kent.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé de l'atelier	p.1
État de la science du DSPM	p.1
Besoins en DSPM, facteurs motivant le DSPM et pertinence du DSPM à l'égard des politiques et programmes	p.2
1. Introduction	p.4
Objectifs de l'atelier	p.4
Organisation de l'atelier	p.5
2. Aperçu du dépistage des sources de pollution microbienne	p.5
Méthodes de DSPM avec banque de matériel microbien de référence	p.6
Méthodes de DSPM sans banque de matériel microbien de référence	p.7
Autres méthodes de dépistage des sources	p.7
3. Activités de dépistage des sources de pollution microbienne	p.8
Canada	p.8
États Unis	p.9
Autres pays	p.9
4. Évaluation de la science du dépistage des sources de pollution microbienne	p.10
Méthodes de DSPM existantes	p.10
Nouvelles méthodes de DSPM	p.12
Études de cas	p.13
5. Évaluation des besoins en dépistage des sources de pollution microbienne	p.15
Effluents municipaux	p.15
Agriculture	p.16
Faune	p.16
6. Facteurs motivant le DSPM au Canada	p.17
7. Conclusions	p.20
8. Références principales	p.21
Annexe A – Programme de l'atelier	p.23
Annexe B – Liste des participants à l'atelier	p.25

Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE

L'Institut national de recherche sur les eaux

L'Institut national de recherche sur les eaux (INRE) est le plus important établissement de recherche sur les eaux douces au Canada. Il compte cinq composantes au pays : le Centre canadien des eaux intérieures, à Burlington (Ontario), le Centre national de recherche en hydrologie, à Saskatoon (Saskatchewan), et trois centres à Gatineau (Québec), Fredericton (Nouveau Brunswick) et Victoria (Colombie Britannique). L'INRE mène des activités dans toutes les régions du Canada ainsi qu'à l'étranger, dans le but de protéger nos ressources en eau et d'en maintenir la qualité et les quantités.

Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE

Au nom du gouvernement du Canada, l'INRE dirige des évaluations scientifiques des questions prioritaires liées aux eaux douces au pays, et en publie les résultats. Généralement, les rapports d'évaluation sont rédigés par des spécialistes de l'INRE, d'administrations gouvernementales, d'universités et de l'industrie. Il font le point sur les connaissances scientifiques, sur les tendances et sur les besoins en matière d'information et de programmes. Ces documents faisant autorité ont pour objet d'aider les scientifiques ayant un pouvoir décisionnel, les gestionnaires de ressources naturelles et les chercheurs à établir des priorités en matière de recherche et à élaborer des politiques et des pratiques de gestion judicieuses.

Ce rapport, et les rapports précédents de cette série, sont accessibles à www.inre.ca

- N° 1 – Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada (2001)
- N° 2 – Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers (2003)
- N° 3 – Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada (2004)
- N° 4 – Dix ans de recherches sur les effets environnementaux des effluents des fabriques de pâtes et papiers au Canada (1992-2002) (2004)
- N° 5 – Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers : Résultats des cycles 1 à 3 (2005)
- N° 6 – La recherche, fondement de décisions prises pour le bénéfice des Canadiens (2005)

Rapport de la série d'ateliers nationaux sur les sciences de l'eau et les politiques

Ces ateliers ont rassemblé de nombreux intervenants canadiens de premier plan travaillant dans les domaines de la recherche sur les eaux, du développement des connaissances, de l'élaboration de politiques et de l'exécution de programmes. Ils constituent un forum où des scientifiques éminents présentent aux décideurs leurs travaux les plus récents, et aident à définir les priorités de la recherche et à trouver des moyens de maintenir le dialogue entre ces deux groupes.

Pour des renseignements sur les thèmes des ateliers antérieurs, visitez :
<http://www.nwri.ca/sciencepolicy/ccmeworkshop-f.html>

Résumé de l'atelier

La pollution fécale des écosystèmes aquatiques est un problème important dans de nombreuses régions du Canada. Cette pollution peut provenir de diverses sources : effluents d'eaux usées municipales, défécation des systèmes d'égouts sur place, fumier des animaux d'élevage, excréments des animaux sauvages et autres. Elle peut avoir des impacts importants sur la santé humaine, les écosystèmes aquatiques et les économies locales, qu'on pense aux épidémies d'origine hydrique, aux avis de faire bouillir l'eau, à la contamination des eaux d'irrigation et aux fermetures de plages et de pêches des mollusques et crustacés.

On a de plus en plus besoin d'une méthode scientifique de détermination des sources de pollution fécale dans les écosystèmes aquatiques. Le repérage exact de ces sources pourrait aider à résoudre dans les collectivités les conflits entre les parties intéressées et favoriser la prise de mesures correctives appropriées et économiques pour prévenir la pollution future. Le dépistage des sources de pollution microbienne (DSPM) constitue un nouveau domaine d'activité fort prometteur pour la détermination des sources de pollution fécale qui contaminent les écosystèmes aquatiques. La démarche générale est fondée sur l'établissement du degré de similitude entre les microorganismes recueillis dans les écosystèmes aquatiques et les microorganismes provenant de sources voisines connues de pollution fécale pour en arriver à déduire la source probable de la contamination fécale. Cependant, ce domaine est encore jeune : il n'existe pas encore de méthodes normalisées et peu d'études de terrain ont été réalisées pour vérifier la fiabilité et l'exactitude des techniques de DSPM. Il existe toutefois un vif intérêt pour ce domaine de recherche, dont on attend encore beaucoup en vue de la résolution des problèmes de pollution fécale.

L'atelier sur le DSPM tenu les 7 et 8 mars 2005 à Toronto (Ontario) avait pour objectifs d'examiner l'état de la science du DSPM et l'applicabilité actuelle de ce dernier ainsi que d'évaluer les besoins des collectivités canadiennes en matière de dépistage des sources de pollution fécale. Les hôtes de l'atelier ont été l'Institut national de recherche sur les eaux et la Région de l'Ontario d'Environnement Canada, la Ville de Toronto, le ministère de l'Environnement de l'Ontario, Santé Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Les 70 participants, provenant d'organismes des administrations fédérale, provinciales et municipales, d'organisations non gouvernementales et d'universités canadiennes, états uniennes et australiennes, représentaient tant la communauté des chercheurs que celle des gestionnaires de politiques et de programmes relatifs aux eaux pouvant s'intéresser aux applications du DSPM au Canada. Cet atelier s'inscrit dans la *Série des ateliers sur les sciences de l'eau et les politiques* (<http://www.nwri.ca/science-policy/ccmworkshop-f.html>), qui réunit des chercheurs de premier plan avec des analystes de politiques et des gestionnaires de programmes pour assurer la communication des récents développements scientifiques et solliciter une rétroaction quant aux motivations de la recherche et aux besoins en matière de recherche. Le rapport s'inscrit aussi dans la *Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE* (<http://www.nwri.ca/publications/sars-f.html>), qui publie des évaluations scientifiques nationales de questions prioritaires au Canada concernant les eaux douces; ces examens rigoureux de l'état des connaissances scientifiques, des tendances et des besoins en matière d'informations et de programmes visent à aider les décideurs dans le domaine des sciences aquatiques, les gestionnaires des ressources et la communauté des chercheurs dans l'établissement des priorités de recherche et l'élaboration de politiques et de pratiques de gestion adéquates.

État de la science du DSPM

Les présentations ont brossé un tableau de l'état de la science du DSPM à partir de publications scientifiques récentes et d'études de cas. Suite aux premières études de dépistage des sources de pollution microbienne réalisées dans les années 1990, on avait grand espoir que les outils de DSPM allaient éventuellement permettre de résoudre les problèmes complexes de dépistage des sources de pollution fécale. Les publications sci-

entifiques plus récentes ont toutefois révélé que les méthodes de DSPM comportent des limitations, particulièrement pour ce qui est des études portant sur de grands bassins hydrographiques comportant des sources complexes de contamination fécale. Les méthodes utilisant une banque de matériel microbien de référence, comme celles reposant sur les *E. coli*, paraissent souffrir de forts taux de classifications erronées et nécessitent des banques de matériel de plus en plus importantes pour qu'y soit représentée toute la diversité des isolats d'*E. coli* pouvant être tirés des différentes sources de pollution fécale. Par ailleurs, les méthodes sans banque de matériel microbien de référence, comme celles reposant sur les *Bacteroides* sp., nécessitent une évaluation plus poussée de la spécificité aux hôtes et doivent encore être bien testées sur le terrain.

Bien que certaines de ces récentes études de DSPM aient été perçues comme une « douche froide » pour le domaine, on continue de relever des cas d'applications réussies du DSPM sur le terrain. Dans certains cas, des méthodes de DSPM ont permis de détecter des sources de pollution fécale inattendues et ont contribué à l'établissement de mesures d'assainissement efficaces. Dans d'autres cas, les résultats d'études de DSPM réalisées sur le terrain ont convergé avec d'autres données pour permettre le repérage de sources de pollution fécale prédominante. D'autres présentations faites à l'atelier ont montré que le domaine du DSPM continue d'évoluer. De nouveaux outils, comme les puces à ADN et les méthodes de génotypage des protozoaires, pourraient venir enrichir la boîte à outils du DSPM. D'autres outils, comme ceux basés sur des traceurs chimiques (p. ex. le coprostanol), ou encore les marqueurs ADN pour les cellules d'animaux hôtes entraînés par les fèces, pourraient aussi se révéler utiles dans le dépistage des sources de pollution fécale.

Les participants à l'atelier ont reconnu que parmi les nombreuses méthodes constituant la boîte à outils actuelle du DSPM, aucune ne représente une « solution miracle » universellement acceptée comme la meilleure méthode. Certaines méthodes sont suffisamment au point pour faire éventuellement l'objet d'une normalisation, mais d'autres demeurent des outils de type expérimental ou devant faire l'objet de recherches supplémentaires. Des recherches additionnelles sont nécessaires pour mieux connaître les avantages et limites des méthodes de dépistage des sources de pollution microbienne, et l'application à plus grande échelle des outils de DSPM ne pourra se faire sans des méthodes normalisées et la conception soignée de protocoles expérimentaux appropriés. Dans les méthodes de DSPM utilisant une banque de matériel microbien de référence, la taille et la représentativité de cette dernière doivent être adéquates, problème non encore résolu. Par ailleurs, dans les méthodes sans banque de matériel microbien de référence, il doit y avoir validation des marqueurs spécifiques aux hôtes dans les études de terrain. L'atelier a insisté sur l'importance de faire appel à plusieurs types de données dans l'application des méthodes de DSPM pour résoudre les problèmes de dépistage des sources de pollution fécale. Les outils de DSPM peuvent certes être utiles pour résoudre ces problèmes, mais on devra veiller à ce que les collectivités qui s'y intéressent n'aient pas de trop grandes attentes à l'égard des études de DSPM pour le proche avenir.

Besoins en DSPM, facteurs motivant le DSPM et pertinence du DSPM à l'égard des politiques et programmes

Avec le vieillissement de l'infrastructure de gestion des eaux usées municipales, l'urbanisation et l'intensification des élevages au Canada, on aura de plus en plus besoin d'outils scientifiques comme le DSPM pour résoudre et prévenir les problèmes de pollution fécale. Le dépistage des sources de pollution microbienne s'est développé plus lentement au Canada qu'aux États-Unis. Les dispositions de la *Clean Air Act* des États Unis exigeant l'établissement de charges quotidiennes maximums totales pour les contaminants fécaux dans les bassins hydrographiques ont en grande partie motivé l'application des méthodes de DSPM aux États Unis. Il n'y a pas au Canada de législation équivalente, de sorte que les applications du DSPM y ont été davantage motivées depuis la base, à partir des préoccupations des collectivités locales concernant les ferme-

tures de plages et de pêches des mollusques et crustacés. Les études de DSPM peuvent contribuer au respect des recommandations, objectifs et règlements fédéraux, provinciaux, territoriaux ou municipaux concernant les paramètres microbiologiques des eaux. En particulier, le repérage des sources de pollution fécale est d'une utilité inestimable dans la détermination des options les moins coûteuses pour réduire la pollution microbienne. On peut aussi entreprendre des études de DSPM pour guider l'élaboration de plans de protection des sources d'approvisionnement en eau et contribuer aux initiatives d'éducation et de sensibilisation relatives à la pollution microbienne à l'échelle locale. Les activités de recherche actuelles dans le domaine du DSPM, dont l'étude de Santé Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada s'inscrivant dans le Cadre stratégique pour l'agriculture du Canada, feront mieux connaître les avantages et limitations des méthodes de DSPM pour les programmes relatifs aux eaux menés au Canada.

1. Introduction

La pollution fécale des écosystèmes aquatiques est un problème important dans de nombreuses régions du Canada. Cette pollution peut provenir de diverses sources : effluents d'eaux usées municipales, fumier des animaux d'élevage, excréments des animaux sauvages et autres. Elle peut avoir des impacts importants sur la santé humaine et les économies locales, qu'on pense aux épidémies d'origine hydrique, aux avis de faire bouillir l'eau, à la contamination des eaux d'irrigation et aux fermetures de plages et de pêches des mollusques et crustacés.



On a de plus en plus besoin d'une méthode scientifique de détermination des sources de pollution fécale dans les écosystèmes aquatiques. Le repérage exact de ces sources pourrait aider à résoudre dans les collectivités les conflits entre les parties intéressées et favoriser la prise de mesures correctives appropriées et économiques pour prévenir la pollution future. Le dépistage des sources de pollution microbienne (DSPM) constitue un nouveau domaine d'activité fort prometteur pour la détermination des sources de pollution fécale qui contaminent les écosystèmes aquatiques. Cependant, ce domaine est encore jeune : il n'existe pas encore de

méthodes normalisées et peu d'études de terrain ont été réalisées pour vérifier la fiabilité et l'exactitude des techniques de DSPM.

Bien que le DSPM en soit encore à ses débuts, ses avantages potentiels sont suffisamment importants pour justifier un examen national de l'état de la science du DSPM et des besoins en matière de dépistage des sources de pollution fécale au Canada. C'est dans cet esprit qu'a été tenu à Toronto (Ontario), les 7 et 8 mars 2005, le présent atelier sur le dépistage des sources de pollution microbienne. Cet atelier a été organisé parce qu'on voulait établir s'il peut y avoir application pratique du DSPM dans son état actuel. D'une part, les gestionnaires des politiques et des programmes de tous les ordres de gouvernement s'intéressent de plus en plus au DSPM pour la détermination des sources de contamination fécale dans divers écosystèmes aquatiques dans l'ensemble du Canada. D'autre part, bien qu'on dispose de certaines études de cas concrets, le domaine est encore largement en développement et les publications scientifiques récentes évaluant les méthodes de DSPM ont fait état de certaines limitations du domaine (Griffith et al., 2003; Stoeckel et al., 2004). Le moment était parfaitement choisi pour réunir les chercheurs et les gestionnaires de politiques et de programmes afin d'obtenir une évaluation réaliste de la science du DSPM ainsi que les avis des praticiens quant à leurs besoins en matière de dépistage des sources de contamination fécale.

Objectifs de l'atelier

L'objectif de l'atelier était de renforcer les liens entre les décideurs canadiens dans le domaine des politiques et programmes relatifs aux eaux et les chercheurs dans le domaine du DSPM par les moyens suivants :

1. Évaluation de la science du DSPM, pour aider les décideurs municipaux, provinciaux, fédéraux et autres à obtenir des connaissances scientifiques sur le DSPM suffisantes pour la formulation de leurs programmes, politiques et besoins en matière de réglementation. L'évaluation devait établir l'état de la science du DSPM et la capacité actuelle de ce dernier d'être largement mis en œuvre dans l'ensemble du Canada.
2. Évaluation des besoins en DSPM, pour aider les scientifiques et chercheurs oeuvrant dans le domaine du DSPM à mieux connaître les besoins touchant la pollution fécale

pour les politiques et programmes canadiens relatifs aux eaux. L'évaluation des besoins devait caractériser les défis à relever en matière de pollution fécale au Canada.

3. Établissement des priorités de la recherche dans le domaine du DSPM au Canada.

4. Forum de réseautage, pour partager de l'information sur le DSPM, constituer des réseaux, établir des contacts et repérer les possibilités de dialogue entre les responsables des politiques relatives aux eaux et les chercheurs dans le domaine du DSPM.

Organisation de l'atelier

L'atelier a été parrainé par l'Institut national de recherche sur les eaux et la Région de l'Ontario (Fonds de durabilité des Grands Lacs) d'Environnement Canada, le ministère de l'Environnement de l'Ontario ainsi que la Ville de Toronto, Santé Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada ayant participé à son organisation.

Le comité de planification qui a organisé l'atelier était composé des personnes suivantes :

Dr Tom Edge - Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada

Karl Schaefer - Liaison S-T, Environnement Canada

Dr Todd Howell - Direction de la surveillance environnementale, ministère de l'Environnement de l'Ontario

Patrick Chessie – Water and Wastewater Services Division, City of Toronto

Will Robertson et Diane Medeiros, Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Santé Canada

Dr Vic Gannon - Laboratoire de lutte contre les zoonoses d'origine alimentaire, Agence de santé publique du Canada

Dr Ed Topp – Sciences des sols et de l'environnement, Agriculture et Agroalimentaire Canada

L'atelier s'est déroulé les 7 et 8 mars 2005 au Metro Hall de la Ville de Toronto, 55 John Street, Toronto, Ontario. Il a consisté en des présentations sur invitation, avec périodes de questions, et en une discussion en plénière des facteurs motivant le DSPM et des besoins dans le domaine (voir le programme de l'atelier à l'annexe B). Les participants invités provenaient de divers horizons : chercheurs dans le domaine du DSPM, gestionnaires de l'eau et des eaux usées d'administrations municipales et régionales, experts des sources de pollution ponctuelles et diffuses d'organisations oeuvrant à l'échelle de bassins hydrographiques (comme les offices de protection de la nature en Ontario), agents chargés de la réglementation sur l'eau et gestionnaires de programmes et de politiques des gouvernements provinciaux, territoriaux et fédéral et membres d'associations et d'organisations professionnelles s'intéressant à la qualité de l'eau. Plus de 70 personnes ont participé à l'atelier (voir la liste des participants à l'annexe A).

2. Aperçu du dépistage des sources de pollution microbienne

Le dépistage des sources de pollution microbienne (DSPM) est un nouveau domaine qui vise à retracer les sources de contamination microbienne dans l'environnement. Ce domaine s'est développé rapidement pour répondre aux besoins croissants de repérage des sources de pollution fécale contaminant les eaux potables, coquillères et récréatives. La démarche générale est fondée sur l'établissement du degré de similitude entre les microorganismes recueillis dans les écosystèmes aquatiques et les microorganismes provenant de sources connues de pollution fécale pour en arriver à déduire la source probable de la contamination fécale.

Diverses méthodes ont été élaborées pour le dépistage des sources de pollution microbienne (Simpson et al., 2002; Scott et al., 2002; U.S. EPA, 2005). Comme le domaine évolue rapidement, de nombreuses nouvelles méthodes sont également à l'étude. L'ensemble des méthodes de DSPM est souvent vu comme une « boîte à outils »,

certaines méthodes s'avérant davantage pertinentes que d'autres selon les circonstances. La présente section brosse un tableau de certaines des méthodes de DSPM les plus communément utilisées.

Les méthodes de DSPM peuvent être divisées en deux grands groupes, soit les méthodes qui reposent sur une banque de matériel microbien de référence et les méthodes qui ne reposent pas sur une telle banque de matériel. À ce jour, les méthodes avec banque de matériel de référence ont été les plus largement utilisées dans les études de DSPM, bien que l'élaboration de la banque de matériel puisse demander beaucoup de travail et de temps. On se penche de plus en plus sur les méthodes sans banque de matériel de référence.

Méthodes de DSPM avec banque de matériel microbien de référence

Les méthodes avec banque de matériel de référence consistent à choisir un microorganisme fécal indicateur (p. ex. *Escherichia coli*) puis à établir une banque de caractéristiques de référence des isolats individuels du microorganisme choisi qui proviennent de sources connues de pollution fécale. Par exemple, on pourrait avoir comme banque de matériel de référence une base de données d'empreintes génétiques d'isolats d'*E. coli* provenant de sources de pollution fécale comme des fèces animales, des fosses septiques ou des effluents d'eaux usées municipales. Les empreintes génétiques des isolats d'*E. coli* provenant d'écosystèmes aquatiques (c. à d'origine inconnue) peuvent alors être comparées aux empreintes génétiques figurant dans la banque (origine connue) pour déduire la source des isolats d'*E. coli* tirés du milieu aquatique. L'identification taxinomique des isolats fécaux et aquatiques doit être exacte pour assurer la validité de l'établissement des similitudes. La taille minimale des banques de matériel de référence n'a pas encore été établie, mais elles doivent être suffisamment importantes pour refléter la diversité des isolats tirés de l'environnement. Il pourrait être utile de procéder à un échantillonnage ciblé pour mieux orienter les efforts de DSPM (Kuntz et al., 2003).

Les microorganismes fécaux indicateurs les plus communément utilisés à ce jour dans les méthodes avec matériel de référence sont les *Escherichia coli* et des *Enterococcus*. Ces bactéries sont communément présentes dans le tube digestif des homéothermes et sont relativement faciles à isoler et à cultiver en laboratoire, de sorte qu'elles sont largement utilisées dans les programmes de surveillance de la qualité des eaux. On peut mesurer la similitude entre isolats d'un microorganisme fécal indicateur au moyen de méthodes fondées sur la détermination des profils des phénotypes ou de méthodes fondées sur la détermination des empreintes des génotypes.

Les méthodes fondées sur les phénotypes utilisent des comparaisons cellulaires ou physiologiques entre les isolats, reposant sur des caractéristiques comme la résistance aux antibiotiques (Wiggins, 1996; Hagedorn et al., 1999; Harwood et al., 2000) ou l'utilisation du carbone (Hagedorn et al., 2003). Le profilage fondé sur la résistance aux antibiotiques est à ce jour la méthode phénotypique la plus communément employée. Dans cette

méthode, les isolats bactériens peuvent être inoculés sur de nombreuses plaques de gélose, chaque plaque renfermant un antibiotique différent mélangé à la gélose. Les isolats sont incubés sur les plaques de gélose durant une nuit et leur croissance est comparée à leur croissance sur une plaque témoin (renfermant la même gélose mais sans antibiotique). Le degré de croissance de chaque isolat sur les différentes plaques de gélose est utilisé pour établir son profil de résistance aux antibiotiques. La méthode de DSPM fondée sur la résistance aux antibiotiques repose sur l'idée que les bactéries du tube digestif des humains et des animaux domestiques sont



exposées à différents antibiotiques par la voie de traitements médicaux et vétérinaires et que ces bactéries entériques acquièrent différents profils de résistance. Comme les espèces sauvages ne sont pas directement exposées à des antibiotiques, leurs bactéries entériques sont habituellement moins résistantes aux antibiotiques.

Les méthodes fondées sur les génotypes comparent des séquences d'ADN des isolats à l'aide de méthodes comme la détermination des empreintes génétiques à l'aide de la rep PCR (Dombeck et al., 2000; Johnson et al., 2004), du ribotypage (Carson et al., 2001) et du polymorphisme de longueur de fragments amplifiés (AFLP) (Guan et al., 2002; Leung et al., 2004). Dans ces méthodes de détermination des empreintes génétiques, l'ADN est extrait des cellules d'un isolat, puis différentes techniques de coupure et d'amplification de l'ADN peuvent être utilisées pour obtenir des fragments d'ADN de tailles diverses. Ces fragments peuvent ensuite être séparés sur gel d'électrophorèse, ce qui produit un spectre de bandes pouvant être visualisé et caractérisé statistiquement comme empreinte génétique unique. Le ribotypage et la rep PCR sont les techniques de détermination des empreintes génétiques les plus communément utilisées à ce jour.

Méthodes de DSPM sans banque de matériel microbien de référence

Les méthodes sans banque de matériel microbien de référence sont fondées sur la détection de marqueurs spécifiques aux hôtes indiquant que la contamination fécale de l'eau provient d'un hôte humain ou animal spécifique. La plupart de ces méthodes utilisent la réaction en chaîne de la polymérase (PCR) pour détecter les marqueurs spécifiques. La culture microbienne n'est généralement pas nécessaire, mais elle peut l'être dans certains cas pour accroître le nombre de microorganismes porteurs d'un gène marqueur spécifique à l'hôte. Par exemple, on a proposé des méthodes avec culture pour des marqueurs spécifiques à l'homme trouvés chez des bactéries du genre *Enterococcus* (Scott et al., 2005) et pour des marqueurs spécifiques aux bovins et au porc trouvés chez les *E. coli* (Khatib et al., 2002, 2003).

Certains des résultats les plus prometteurs à ce jour pour l'obtention de marqueurs spécifiques aux hôtes en vue du dépistage des sources de pollution fécale ont trait à des marqueurs ADNr 16S dans la famille des *Bacteroidetes*. Ces bactéries anaérobies représentent une très forte proportion de la flore fécale des homéothermes. Bernhard et Field (2000a) ont trouvé des séquences d'ADNr 16S spécifiques aux hôtes chez des *Bacteroides* sp. dans des échantillons de fèces humaines et bovines et ont utilisé une méthode pour dépister ces séquences dans les eaux côtières. Les mêmes auteurs (2000b) ont ensuite élaboré des essais de PCR pour l'ADNr 16S des *Bacteroides* spécifiques aux ruminants et à l'humain offrant des méthodes de DSPM ne requérant pas de culture. Un effort de recherche important est en cours pour valider et trouver de nouveaux marqueurs spécifiques aux hôtes chez les *Bacteroides* sp. (Field, 2004). On a proposé d'autres marqueurs spécifiques aux hôtes chez des bactériophages (Payan et al., 2005) et des microorganismes pathogènes, tels des virus entériques (Fong et al., 2005) et des protozoaires, comme des cryptosporidies (Jiang et al., 2005).

Autres méthodes de dépistage des sources

Bien que les méthodes de dépistage des sources de pollution microbienne décrites ci dessus évoluent rapidement, on doit souligner que d'autres méthodes peuvent être utilisées pour dépister la contamination fécale dans les écosystèmes aquatiques. Par exemple, des traceurs chimiques ont été utilisés, le plus souvent pour détecter des substances chimiques associées aux déchets humains. Comme les plus fortes concentrations de ces substances chimiques se trouvent habituellement dans les stations d'épuration des eaux usées, ce type de méthodes est proposé pour le dépistage de la pollution fécale d'origine humaine. Par exemple, les stérols et stanols fécaux, la caféine, des détergents, des agents de blanchiment pour la lessive, des parfums et des produits pharmaceutiques ont été proposés comme marqueurs de la pollution fécale (Elhmmali et al., 2002; Roser et al., 2003; Glassmeyer et al., 2005). Des marqueurs ADNm d'eucaryotes ont aussi été utilisés pour discriminer des sources de pollution fécale pour les eaux de surface (Martellini et al., 2005), sujet traité plus bas dans le présent rapport.

3. Activités de dépistage des sources de pollution microbienne

Canada

Le présent atelier sur le dépistage des sources de pollution microbienne, tenu à Toronto, a été inspiré de publications scientifiques récentes et de diverses activités de dépistage des sources de pollution microbienne entreprises au Canada ces dernières années. Le Dr Tom Edge, d'Environnement Canada, a fait état d'autres ateliers sur le DSPM qui ont eu lieu dans différentes régions du Canada en réponse au besoin exprimé de pouvoir repérer les sources de pollution fécale responsables de la contamination des bassins hydrographiques agricoles et de la fermeture de plages et de zones de pêche des mollusques et crustacés. Un atelier parrainé par Santé Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada a été tenu les 19 et 20 juin 2003 à Ottawa (Ontario) pour aider à concevoir un grand projet de DSPM s'inscrivant dans le Cadre stratégique pour l'agriculture (Health Canada et Agriculture and Agri-Food Canada, 2004). Un autre atelier sur le DSPM a eu lieu les 5 et 6 avril 2004 à Guelph (Ontario) (Goss et Dunfield, 2004). Enfin, Environnement Canada, le Programme d'action national pour la protection du milieu marin contre la pollution d'origine terrestre (PAN), l'Université Acadia et le Clean Annapolis River Project (CARP) ont collaboré à l'organisation de l'atelier sur le DSPM tenu les 14 et 15 avril 2004 à Wolfville (Nouvelle Écosse) (Sullivan, 2004).



Les activités relatives au dépistage des sources de pollution microbienne sont en croissance dans divers laboratoires universitaires, gouvernementaux et privés au Canada. Les institutions suivantes ont des programmes de recherche de laboratoire sur le DSPM : Université de Victoria, Victoria (Colombie-Britannique) (Drs Azit Mazumder et Rick Nordin); Centre des sciences environnementales du Pacifique d'Environnement Canada, Vancouver (Colombie-Britannique) (Heather Osachoff); Agence de santé publique du Canada, Lethbridge (Alberta) (Dr Vic Gannon); Université Lakehead, Thunder Bay (Ontario) (Dr Kam Leung); Agriculture et Agroalimentaire Canada,

London (Ontario) (Dr Ed Topp); GAP Services Inc., London (Ontario) (Gary Palmateer); Université de Guelph, Guelph (Ontario) (Drs Carleton Gyles, Shu Chen et Michael Goss); Institut national de recherche sur les eaux d'Environnement Canada, Burlington (Ontario) (Dr Tom Edge); ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (Ontario) (Dre Susan Weir); Université Acadia, Wolfville (Nouvelle Écosse) (Dr Greg Bezanson). Des études dans le domaine du DSPM sont probablement aussi réalisées dans d'autres laboratoires au Canada.

En vertu du Cadre stratégique pour l'agriculture du Canada, Santé Canada et Agriculture et Agroalimentaire ont créé le programme national de surveillance de la qualité des eaux. Selon le Dr Ed Topp, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, ce programme s'efforce d'obtenir un aperçu de la qualité de l'eau dans un petit nombre de bassins hydrographiques canadiens représentatifs présentant des utilisations des terres différentes. Parallèlement, un vaste éventail de paramètres biologiques et chimiques sont évalués en vue de tester et de valider des technologies de dépistage des sources de pollution microbienne dans le contexte canadien. Dans sa présentation, le Dr Topp a présenté certains des objectifs de recherche de cette initiative fédérale.

États Unis

Un survol des activités de dépistage des sources de pollution microbienne menées aux États Unis a été présenté par la Dre Valerie J. Harwood, de l'Université de la Floride du Sud (le Dr Jorge Santo Domingo, de la U.S. Environmental Protection Agency, n'a pu participer à l'atelier). La protection contre la contamination microbienne fécale est l'un des plus importants objectifs figurant au paragraphe 303(c) de la *Clean Water Act* des États Unis pour les eaux désignées pour les activités récréatives (contact primaire et secondaire), les services d'eau publics et la reproduction des poissons, crustacés et mollusques. La détection des bactéries et pathogènes fécaux, et leur pistage jusqu'à leurs sources, fait l'objet d'un grand intérêt aux États-Unis vu les exigences actuelles en ce qui concerne l'établissement des charges quotidiennes maximums totales (*Total Maximum Daily Loads*, TMDL). Les États, territoires et tribus devront respecter les exigences touchant les TMDL d'ici les cinq à dix prochaines années.

Un certain nombre de méthodes de dépistage des sources de pollution microbienne sont actuellement utilisées aux États-Unis pour déterminer l'origine de la pollution fécale affectant les systèmes aquatiques naturels. Le DSPM est fondé sur l'hypothèse qu'avec la méthode et l'organisme indicateur appropriés, on peut repérer la source de la pollution microbienne. Bon nombre des travaux de DSPM menées aux États-Unis reposent sur la comparaison des « empreintes » génomiques de souches bactériennes tirées d'un système aquatique avec celles de souches tirées de différents hôtes (p. ex. humains, animaux domestiques, animaux sauvages). Pour repérer avec succès les sources de pollution fécale, les approches les plus souvent utilisées reposent sur l'élaboration de banques bien pourvues (collections de cultures) des bactéries indicatrices (soit les *E. coli* et les entérocoques fécaux). Bien que plusieurs études de laboratoire concluent à la validité des méthodes de DSPM avec banque de matériel microbien de référence, l'exactitude de ces dernières sur le terrain est mise en question à cause de divers problèmes associés aux organismes cibles, au niveau de complexité qu'introduisent les vecteurs spatiaux et temporels, à la stabilité des marqueurs utilisés et à la faiblesse des protocoles d'échantillonnage. Par conséquent, plusieurs méthodes sans banque de matériel de référence fondées sur des marqueurs phylogénétiques et des facteurs de virulence (aggressines) ont été récemment élaborées pour échapper aux limitations des méthodes reposant sur des cultures microbiennes. Cependant, aucune évaluation systématique des méthodes sans banque de matériel microbien de référence dans des conditions de terrain n'a encore été effectuée. L'agence de protection de l'environnement des États-Unis a récemment achevé un examen scientifique des méthodes de DSPM et rédigé un guide destiné aux responsables de la qualité des eaux intéressés au DSPM (U.S. EPA, 2005).

Autres pays

Le Dr Nicholas Ashbolt, de l'Université de la Nouvelle Galles du Sud, sise à Sydney (Australie), a donné un aperçu des activités de DSPM menées ailleurs dans le monde. La gestion de la sûreté des systèmes d'approvisionnement en eau potable a connu un changement de paradigme dans les dernières années. Durant l'examen et la rédaction, en 2004, des recommandations pour l'eau potable de l'OMS et de l'Australie, les responsables des eaux ont mis l'accent sur la manière d'appliquer le plan proactif pour la salubrité de l'eau (Water Safety Plan, WSP) plutôt que de simplement se concentrer sur la conformité aux concentrations réglementaires des indicateurs microbiens aux points de rejet. Parmi les éléments centraux du WSP, on trouve une approche équivalente à la démarche de gestion du risque de l'industrie de l'alimentation, fondée sur l'analyse des risques et la maîtrise des points critiques (HACCP). Pour les approvisionnements en eau, cela signifie qu'il faut s'efforcer de connaître les sources de pollution fécale et les événements pouvant conduire à la contamination des eaux potables par des pathogènes; à cette fin, les méthodes de dépistage des sources de pollution fécale, combinées à des enquêtes sanitaires, sont des outils essentiels.

Divers outils de dépistage des sources de pollution microbienne ont été évalués dans le cadre d'un projet récent de l'Union européenne, les bifidobactéries fermentant le sorbitol, l'identification des bifidobactéries au moyen de la PCR et les phages infectant le *Bacteroides thetaiotaomicron* s'étant révélés les outils les plus fructueux avec des échantillons prélevés dans des bassins hydrographiques. Pourtant, le génotype II de bactériophages à ARN F spécifiques, et le ratio coprostanol:coprostanol + épiscoprostanol présentent un plus fort pouvoir discriminant pour les échantillons fécaux, mais leur application aux échantillons de terrain se trouve limitée par les faibles concentrations dans l'eau. Toutefois, des travaux australiens récents portant sur les stérols fécaux ont montré qu'avec une concentration améliorée des échantillons et une meilleure analyse des données, particulièrement des ratios entre stanols, stérols et microorganismes, ces derniers paramètres pourraient fournir des estimations des charges de pollution fécale, actuellement impossibles à obtenir avec la plupart des outils de DSPM. Un prototype de système d'aide à la décision appuyant l'analyse des données, appelé FaecalPrint, a été élaboré et les résultats ont été présentés.

4. Évaluation de la science du dépistage des sources de pollution microbienne

L'atelier a traité de l'état de la science du DSPM par l'entremise de présentations et de discussions concernant les méthodes existantes, les nouvelles méthodes et des études de cas relatives à l'application des méthodes de DSPM aux problèmes de pollution fécale. Deux études récemment publiées ont été présentées à l'atelier comme base de discussion concernant les limitations des méthodes existantes (Griffith et al., 2003; Stoeckel et al., 2004). Il est ressorti des discussions que ces deux publications constituaient une « douche froide » pour le domaine du DSPM. Les méthodes avec banque de matériel microbien de référence, comme celles reposant sur les *E. coli*, paraissent souffrir de forts taux de classifications erronées et nécessitent des banques de matériel de plus en plus importantes pour qu'y soit représentée toute la diversité des isolats d'*E. coli* pouvant être tirés des différentes sources de pollution fécale. Par ailleurs, les méthodes sans banque de matériel microbien de référence, comme celles reposant sur les *Bacteroides* sp., nécessitent une évaluation plus poussée de la spécificité aux hôtes et doivent encore être bien testées sur le terrain. Il y a une reconnaissance grandissante des limitations des méthodes de DSPM existantes, l'optimisme des débuts du DSPM devant être tempéré. Cette constatation a également été faite lors de l'atelier de la WERF (Water Environment Research Foundation) sur le DSPM tenu à San Antonio (Texas) du 16 au 18 février 2005. Toutefois, à l'atelier de Toronto, on a fait état de nouvelles méthodes prometteuses qui viennent enrichir la boîte à outils du DSPM et on a présenté des études de cas montrant que des études de DSPM bien conçues peuvent être appliquées pour permettre de repérer et résoudre avec succès les problèmes de pollution fécale. Les discussions de l'atelier ont établi la nécessité d'accroître les recherches visant à tester et à valider les méthodes de DSPM existantes dans le cadre d'études de terrain et de continuer de rechercher de nouveaux marqueurs de pollution fécale spécifiques aux hôtes.

Méthodes de DSPM existantes

Le Dr John Griffith, du Southern California Coastal Water Research Project, basé à Westminster (Californie), a présenté les résultats d'une évaluation comparative récente de méthodes de DSPM (Griffith et al., 2003). Dans cette étude, 22 chercheurs employant douze méthodes différentes ont reçu des ensembles d'échantillons d'eau pour essais en aveugle préparés de façon identique. Chaque échantillon renfermait une à trois de cinq sources possibles de matériel fécal (humain, chien, bovin, goéland ou eaux usées). On a aussi fourni à ces chercheurs des portions du matériel fécal utilisé pour inoculer les échantillons d'eau susmentionnés pour qu'ils puissent les utiliser comme matériel de référence. Aucune des méthodes de DSPM n'a permis d'identifier parfaitement le matériel source dans les échantillons. La méthode de PCR basée sur la spécificité aux

hôtes a le mieux différencié les sources humaines des sources non humaines, mais il n'existe pas encore d'amorces pour différencier les sources non humaines. Les méthodes basées sur les virus et les coliphages F+ ont identifié les eaux usées avec fiabilité, mais elles ne permettaient pas d'identifier la contamination fécale issue d'humains individuels. Les méthodes utilisant isolats et banque de matériel de référence arrivaient à identifier la source dominante dans la plupart des échantillons, mais donnaient aussi des faux positifs, telle ou telle source de matériel fécal étant considérée à tort comme présente dans les échantillons. Parmi les méthodes utilisant une banque de matériel de référence, les méthodes fondées sur les génotypes ont généralement donné de meilleurs résultats que les méthodes fondées sur les phénotypes.

Le Dr Don Stoeckel, de la U.S. Geological Survey, à Columbus (Ohio) a présenté les résultats d'une autre évaluation comparative récente de méthodes de DSPM (Stoeckel et al., 2004). Dans cette étude, sept protocoles de dépistage des sources de pollution microbienne par typage des *E. coli*, représentant deux méthodes pour l'assignation des *E. coli* à des hôtes, ont été évalués. Aucun des protocoles testés n'ont assigné la majorité des isolats à identifier aux bons hôtes d'origine; les protocoles qui ont visé la classification de seulement quelques isolats ont tendu à montrer de forts taux de classification correcte tandis que les protocoles qui ont visé la classification de la plupart des isolats ont montré des taux élevés de classification incorrecte. Les résultats de l'étude indiquent qu'avec ses 1000 isolats, la banque de matériel de référence était insuffisante pour effectuer le DSPM dans la portion de comté visée par l'étude, dont la superficie était de l'ordre de 100 milles carrés (environ 300 kilomètres carrés). Le DSPM a pour hypothèse centrale la spécificité aux hôtes des marqueurs fécaux. Pour les méthodes avec banque de matériel microbien de référence, il doit y avoir soit un nombre limité de types spécifiques à l'hôte par source, soit un rapprochement entre les nombreux types spécifiques à un même hôte. L'existence de sous types cosmopolites, la forte diversité des sous types et le manque de rapprochement entre les sous types issus d'un même hôte ont contribué au manque d'exactitude observé dans l'étude.

Le Dr Paul Rochelle, du Metropolitan Water District de la Californie du Sud, à La Verne (Californie), a fait état des résultats d'un atelier sur le dépistage des sources de pollution microbienne parrainé par la Water Environment Research Foundation et le Metropolitan Water District de la Californie du Sud, tenu à San Antonio (Texas) en février 2005. Le but général de cet atelier était de repérer les lacunes dans les connaissances et les besoins en matière de recherche pour l'application des technologies de DSPM dans les secteurs des eaux usées et de l'eau potable. Les participants à l'atelier ont convenu que le DSPM a de l'avenir mais que ce domaine a besoin d'études comparatives et évaluatives additionnelles. Il doit y avoir davantage de comparaisons interlaboratoires des méthodes, adhésion à des méthodes normalisées, une plus grande prise en compte des questions d'assurance et de contrôle de la qualité dans les études et une description plus exhaustive de tous les aspects des études dans les publications. On a reconnu que certaines méthodes sont suffisamment au point pour faire l'objet d'une normalisation, tandis que d'autres demeurent des outils de type expérimental ou devant faire l'objet de recherches supplémentaires. La question récurrente du coût des analyses a fait ressortir les tensions entre pragmatisme (financement et échéanciers serrés, discrimination des sources humaines et non humaines) et idéalisme (plus grand nombre d'isolats, banques de matériel microbien de référence plus étendues, méthodes plus complexes, certitude accrue, résolution accrue). Bien qu'on ait dans le passé largement débattu la question de savoir quelle est « la meilleure » méthode, l'idée qu'il n'existerait probablement pas de « solution miracle » unique a fait l'objet d'un consensus à l'atelier. Les praticiens du DSPM doivent plutôt recourir à une « boîte à outils » dont les diverses composantes varieront selon le type de bassin hydrologique, les sources potentielles de contamination, le financement et le temps disponibles ainsi que le niveau de résolution requis, entre autres. Les études comparatives futures devront évaluer différentes séries de méthodes en vue de déterminer celles qui satisfont le mieux les critères d'exactitude, de sensibilité et de reproductibilité.

Nouvelles méthodes de DSPM

Le Dr Roland Brousseau, de l'Institut de recherche en biotechnologie du Conseil national de recherches du Canada, à Montréal (Québec), a fait une présentation sur l'application de la technologie des microréseaux d'ADN (puces à ADN) dans le dépistage des sources de pollution microbienne. La capacité de traitement en parallèle qu'offrent les microréseaux, en vertu de laquelle des centaines de sondes peuvent être testées simultanément par hybridation, fait de cette technologie un outil tout indiqué pour aborder le difficile problème du DSPM. Cependant, la sensibilité des microréseaux est plutôt limitée pour le moment. Selon les méthodes et les conditions, une espèce bactérienne donnée peut devoir représenter plus de cinq pour cent d'un mélange complexe pour que sa présence puisse être détectée par hybridation directe de l'ADN marqué total provenant d'un échantillon pris dans l'environnement. On peut abaisser ce seuil en ajoutant une étape d'amplification (p. ex. PCR) avant l'hybridation, l'amplification introduisant cependant un biais inconnu et variable. Malgré ces problèmes, les microréseaux permettent d'obtenir à partir de l'ADN amplifié des profils d'hybridation discriminant différents types de matières fécales. On mène actuellement pour les *E. coli* une étude sur une autre méthode, utilisant l'ADN extrait de colonies isolées, étude dans laquelle on vérifie si la cartographie fine des gènes de virulence et de résistance aux antibiotiques pourrait être utilisée dans le DSPM.



Le Dr Norman Neumann, du Provincial Laboratory for Public Health (Microbiology), à Calgary (Alberta), a fait une présentation sur l'application du génotypage des protozoaires dans le dépistage des sources de pollution microbienne. Jusqu'à récemment, on pensait que le *Cryptosporidium parvum* et le *Giardia lamblia* pouvaient parasiter un vaste éventail de mammifères. Des données récentes sur l'épidémiologie moléculaire de ces parasites laissent toutefois penser qu'il y a spécificité à l'hôte chez différentes espèces ou génotypes de *Cryptosporidium* et de *Giardia*, ce qui change les perceptions quant au potentiel zoonotique de ces parasites et des risques de maladie d'origine

hydrique qu'ils présentent pour l'homme. Dans des études évaluant la protection des sources d'approvisionnement en eau dans deux bassins hydrographiques (2003 et 2004), on a utilisé l'analyse des empreintes génétiques pour un repérage intensif des hôtes constituant des sources de pollution fécale pour la rivière South Nation (Ontario) et la rivière Oldman (Alberta). Les sites choisis dans ces bassins ont fait l'objet d'un échantillonnage hebdomadaire visant les *Cryptosporidium* et les *Giardia*. L'analyse des empreintes génétiques des parasites du genre *Cryptosporidium* a révélé la présence de sources de pollution fécale associées à des hôtes divers, les sources repérées étant des animaux sauvages (cerfs, renards, oiseaux, mouffettes), l'agriculture ou les eaux usées (origine humaine). Ces résultats reposent sur la détection d'ookystes de *Cryptosporidium* présentant des similitudes de séquences d'ADN avec le génotype du *Cryptosporidium* du renard (renards), du génotype du *Cryptosporidium* du cerf (cerfs), du *Cryptosporidium baileyi* (oiseaux), du *Cryptosporidium* de la mouffette (mouffette), du *Cryptosporidium andersoni* (bovins) et du génotype bovin du *Cryptosporidium parvum* (bovins, ongulés ou humains). On a de plus détecté au moins trois autres génotypes de *Cryptosporidium* non identifiés dont les sources (hôtes) probablement des espèces sauvages demeurent inconnues. Durant une période de fortes précipitations à la rivière South Nation, le *Cryptosporidium andersoni* (hôte = bovins) a été détecté à un nombre important de sites le long de la rivière, ce qui laisse croire à un influx de matières fécales d'origine agricole dans la rivière durant cette période. Chose intéressante, on a souvent détecté

des génotypes d'espèces sauvages sur toute la durée de l'étude, ce qui laisse penser que les animaux sauvages fréquentant la zone riveraine peuvent contribuer de façon importante à la contamination des eaux du bassin par des parasites. L'analyse moléculaire des génotypes des parasites présents dans l'eau peut être utile pour dépister des sources de pollution microbienne et assurer une protection efficace des bassins hydrographiques et de la santé publique.

Le Dr Pierre Payment, de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), à Laval (Québec), a présenté des résultats concernant une nouvelle méthode moléculaire élaborée pour détecter l'ADN de cellules animales entraînées par les fèces dans l'intestin (Martellini et al., 2005). Cette méthode, fondée sur la détection de l'ADN mitochondrial de diverses espèces animales, vise à retracer l'origine de la pollution fécale des eaux de surface et à différencier les sources humaines et non humaines de cette pollution. Des séquences d'ADN mitochondrial ont été utilisées pour créer des amorces de PCR spécifiques pour l'ADN humain, bovin, ovin et porcine à l'aide de protocoles de PCR à amorce unique, de PCR multiplex et de PCR nichée. Les amorces ont été testées avec de l'ADN tiré d'eaux usées domestiques non traitées, d'eaux de ruissellement issues de sols agricoles, d'effluents de porcherie et des eaux de deux rivières dont les sources de pollution sont connues. Au moins une des quatre espèces a été détectée dans la plupart de ces échantillons. La limite de détection pour les eaux usées était de 10^3 à 10^4 cellules par litre avec un protocole de PCR multiplex. Aucune autre méthode utilisant l'ADN codant d'eucaryotes pour détecter et différencier l'ADN animal d'origine fécale dans les eaux n'a été rapportée à ce jour. Cette méthode novatrice est simple et pourrait être utilisée pour différencier rapidement les sources de pollution dans les bassins hydrographiques.

Études de cas

Le Dr Chuck Hagedorn, du Department of Crop and Soil Environmental Sciences, de l'Université Virginia Tech, à Blacksburg (Virginie), a présenté plusieurs études de cas pour démontrer comment les méthodes de dépistage des sources de pollution microbienne peuvent être employées à l'échelle des bassins hydrographiques. Au cours des dix dernières années, des milliers d'isolats d'*Enterococcus* et d'*E. coli* de sources connues ont été profilés par électrophorèse sur gel en champ pulsé, détermination de l'utilisation des sources de carbone (avec le système Biolog semi automatisé) et analyse de la résistance aux antibiotiques. Grâce à ces profils, on peut discriminer avec exactitude et fiabilité les *Enterococcus* et les *E. coli* provenant des humains, des oiseaux, des animaux de compagnie, des animaux domestiques et des animaux sauvages, puis comparer ces profils de référence aux profils des isolats tirés des échantillons pris dans l'environnement (origine inconnue) pour déterminer les sources de ces isolats. Les études de cas réalisées dans des bassins hydrographiques divers paraissent indiquer que l'utilisation des *Enterococcus* et *E. coli* dans le DSPM fonctionne bien, particulièrement à la lumière des résultats des études comparant diverses méthodes publiées récemment. L'approche du laboratoire du Dr Hagedorn est fondée sur une assurance et un contrôle de la qualité poussés pour les banques de matériel microbien spécifique aux hôtes ainsi que sur l'utilisation de plusieurs méthodes de DSPM et d'un traceur autre. Une nouvelle approche recourant à la détection des agents de blanchiment présents dans les détergents pour identifier les sources anthropiques de pollution fécale a aussi été présentée.

Le Dr Tom Edge, de l'Institut national de recherche sur les eaux d'Environnement Canada, à Burlington (Ontario), et Ted Bowering, de la Ville de Toronto, ont présenté une étude de cas relative à l'application du DSPM pour la recherche des sources de la contamination fécale observée à deux plages urbaines de Toronto, sur le lac Ontario. L'étude a utilisé plusieurs types de données pour déterminer la source de la contamination. L'analyse de la résistance aux antibiotiques et la détermination d'empreintes génétiques au moyen de la rep-PCR ont été utilisées en parallèle avec une approche fondée sur une banque de matériel d'*E. coli* de référence. Plus de 6000 *E. coli* ont été tirés des eaux des plages, du sable et de sources de pollution fécale du milieu urbain voisin (p. ex. eaux usées, oiseaux, animaux de compagnie). Les résultats du DSPM ont montré que les fèces

d'oiseaux contribuent de façon importante à la contamination fécale des deux plages. Ces résultats vont dans le sens de la connaissance locale des sources de pollution fécale et des observations de nombreux goélands et oies (et de fèces de ces oiseaux) sur les plages. Les données de diverses natures obtenues à ce jour laissent entendre que les déjections aviennes (goélands et bernaches du Canada) peuvent être dans certaines périodes la principale source de la pollution fécale observée à ces plages.

Le Dr Todd Howell, du ministère de l'Environnement de l'Ontario, à Toronto (Ontario), a décrit les problèmes de pollution fécale à des plages du lac Huron (OMOE, 2005). On mène actuellement sur le littoral sud est du lac Huron, depuis la rivière Ausable jusqu'à la pointe Clark, une étude sur les sources et les voies de la pollution fécale. Les plages récréatives sont périodiquement affichées impropres à la baignade à cause de la mauvaise qualité de l'eau. La qualité de l'eau semble très variable parmi les zones de plage surveillées par les services sanitaires locaux. Les activités de dépistage de la pollution microbienne dans la région remontent à plus de 20 ans. Dans les bassins des tributaires, l'agriculture est la principale utilisation des terres, les zones boisées ou urbaines y étant limitées. De nombreuses études sur la qualité des eaux des tributaires ont signalé des niveaux élevés pour les indicateurs de pollution fécale, soit les *E. coli* et les coliformes fécaux. Les études antérieures se sont concentrées sur l'agriculture, les fosses septiques défectueuses et les stations de traitement des eaux usées comme sources possibles de pollution fécale. La plupart des cours d'eau qui se jettent dans le lac dans la zone de littoral visée par l'étude présentée ici sont des ruisseaux dont la source se trouve à moins de 10 km du littoral et la superficie est inférieure à 5 km². Par ailleurs, on compte quelques grands systèmes fluviaux qui représentent plus de 80 % de l'aire du bassin de la zone de littoral visée par l'étude. Le plus grand de ces systèmes est celui de la Maitland, qui s'étend jusqu'à environ 85 km du littoral et draine une superficie de près de 2600 km². Malgré l'importance incontestable des tributaires comme sources de polluants pour le lac, on connaît mal l'étendue spatiale ou la fréquence temporelle des effets de leurs charges de polluants sur la présence des indicateurs de pollution fécale dans les eaux littorales. Dans bon nombre de secteurs, le littoral est occupé par des résidences saisonnières ou permanentes dont les eaux usées vont dans des fosses septiques. On a peu étudié dans quelle mesure les sources de pollution fécale voisines des plages littorales peuvent contribuer aux problèmes de qualité de l'eau. Les études antérieures se sont peu penchées sur les animaux sauvages en particulier les goélands et les oies qui fréquentent occasionnellement certaines plages comme source potentielle de pollution fécale. L'incertitude demeure quant aux sources de la pollution fécale du lac, qui donnent lieu aux niveaux élevés des indicateurs fécaux périodiquement détectés dans les eaux littorales de ces plages récréatives.

Le Dr Vic Gannon, du Laboratoire de lutte contre les zoonoses d'origine alimentaire de l'Agence de santé publique du Canada, à Lethbridge (Alberta), a présenté une étude de cas de DSPM pour le bassin de la rivière Oldman, situé dans le sud de l'Alberta, où l'on trouve environ 1,1 million de têtes de bétail. La Little Bow coule dans ce bassin à 40 km en aval de Lethbridge et traverse une région renfermant de nombreux parcs d'engraissement et une forte densité de bovins, et où les cultures sont irriguées. Cette étude visait à déterminer s'il y avait une corrélation entre les marqueurs moléculaires des *Bacteroides-Prevotella* de l'homme et des ruminants et la présence de l'*E. coli* O157:H7 et des *Salmonella* dans la Little Bow. Des échantillons d'eau ont été recueillis hebdomadairement à différents sites durant les mois d'été de 2002 et de 2003 dans la Little Bow. Les échantillons ont été cultivés pour multiplication des *Salmonella* et de l'*E. coli* O157:H7, et on a soumis l'ADN extrait des filtres des échantillons à des essais de PCR avec les ensembles d'amorces des *Bacteroides-Prevotella* spécifiques aux ruminants et à l'humain. La proportion des échantillons positifs pour l'*E. coli* O157:H7 qui ont donné des résultats positifs pour les marqueurs des ruminants a été de 90,9 % (IC à 95 % s'étendant de 0,739 à 1,079; erreur type = 0,0867). Par ailleurs, seulement 44,8 % (IC à 95 % s'étendant de 0,320 à 0,576; erreur type = 0,00426) des échantillons positifs pour les *Salmonella* ont donné des résultats positifs pour les marqueurs des ruminants. Le rapport de cotes pour la

détection des marqueurs fécaux des ruminants associés aux *Bacteroides-Prevotella* quand l'*E. coli* O157:H7 était présent était de 10 contre 1, mais il n'était que de 0,8 contre 1 quand les *Salmonella* étaient présents. Le rapport de cotes pour la détection des marqueurs fécaux humains associés aux *Bacteroides-Prevotella* quand l'*E. coli* O157:H7 était présent était de 0 contre 1, et il était de 0,036 contre 1 quand les *Salmonella* étaient présents. Les bovins et les ruminants sont connus pour être des réservoirs pour l'*E. coli* O157:H7. Comme on pouvait s'y attendre, on a obtenu un rapport de cotes élevé pour la détection des marqueurs des ruminants quand l'*E. coli* O157:H7 était présent. Par contre, les marqueurs spécifiques aux hôtes associés aux *Bacteroides-Prevotella* utilisés dans l'étude n'étaient pas corrélés avec la présence des salmonelles. Cela laisse penser que la contamination des eaux fluviales par ces derniers pathogènes provient d'une grande diversité d'espèces hôtes; par exemple, bon nombre des sérotypes de *Salmonella* recueillis seraient d'origine avienne, les marqueurs aviens n'ayant pu être détectés avec les essais de PCR avec marqueurs spécifiques à l'homme et aux ruminants associés aux *Bacteroides Prevotella*.

5. Évaluation des besoins en dépistage des sources de pollution microbienne

La contamination fécale des écosystèmes aquatiques a eu des répercussions néfastes sur la santé publique et l'économie dans bon nombre de collectivités canadiennes. La contamination fécale peut provenir de différentes sources, mais les principales dans de nombreuses régions du Canada sont les effluents municipaux, les pratiques agricoles et les animaux sauvages.

Effluents municipaux

Les collectivités doivent être en mesure de retracer rapidement les sources de contamination des eaux usées municipales, des débordements d'égouts unitaires et des eaux de ruissellement, les pathogènes d'origine hydrique ayant un potentiel relativement élevé de menacer la santé humaine. Cette pollution fécale peut provenir d'effluents de stations d'épuration incorrectement traités, ou d'eaux échappant aux stations d'épuration (dérivations), des égouts pluviaux et des trop pleins d'égout unitaire. Les fuites de fosses septiques et les eaux usées des bateaux, ou « eaux grises », sont d'autres sources possibles de contamination fécale humaine dans les écosystèmes aquatiques. Le DSPM se trouve compliqué par le fait que les eaux usées municipales peuvent contenir des contaminants microbiens de sources autres qu'humaines. Ces eaux peuvent aussi renfermer des contaminants fécaux provenant d'activités de transformation des aliments ou du ruissellement urbain, contaminé par les excréments des animaux familiers ou sauvages présents dans les municipalités.

Le Dr Jiri Marsalek, de l'Institut national de recherche sur les eaux d'Environnement Canada, à Burlington (Ontario), a fait une présentation sur les défis de la pollution fécale dans les environnements urbains. Ce type de contamination se produit fréquemment dans les eaux urbaines en rapport avec divers effluents municipaux, ceux associés aux pluies, qu'on pense aux égouts pluviaux et aux trop pleins d'égout unitaire, étant particulièrement importants. Les rejets des égouts pluviaux et des trop pleins d'égout unitaire peuvent être fortement contaminés par des bactéries fécales et largement diffusés dans les régions urbaines. On doit donc en tenir compte dans la planification de la protection des eaux récréatives. Les données de caractérisation des eaux des égouts pluviaux indiquent des concentrations d'*E. coli* ou de coliformes fécaux se situant entre 10^3 et 10^5 unités par 100 ml. Ces concentrations peuvent être réduites avant rejet dans les eaux libres par des mesures de gestion des eaux pluviales ou, exceptionnellement, par désinfection. Les concentrations de bactéries indicatrices dans les trop pleins d'égout unitaire, beaucoup plus élevées que celles mesurées dans les égouts pluviaux, peuvent

atteindre 10^6 *E. coli* par 100 ml. Par conséquent, la réduction de la contamination fécale associée aux trop pleins d'égout unitaire est maintenant prise en compte dans la conception des systèmes de contrôle et de traitement pour les trop pleins d'égout unitaire, comme le stipule la directive provisoire de l'Ontario F 5 5 (Ontario Interim Directive F 5 5) visant la réduction de la pollution associée aux trop pleins d'égout unitaire. Dans certains cas (p. ex. pour le secteur riverain de Toronto), la réduction de la contamination fécale des eaux réceptrices est parmi les principaux facteurs motivant les programmes souvent coûteux de réduction de la pollution associée aux trop pleins d'égout unitaire. Parmi les mesures possibles de réduction de ce type de pollution, on compte diverses combinaisons de stockage et traitement, dans lesquelles le processus de traitement comprend généralement une désinfection, particulièrement quand les points de rejet se trouvent en amont d'eaux récréatives. Des données sur des bactéries indicatrices provenant d'études réalisées dans des voies interlacustres des Grands Lacs d'amont (Ontario) ont été utilisées pour démontrer les impacts des effluents pluviaux quant à la contamination fécale.

Agriculture

Il est possible de traiter efficacement les déchets fécaux des animaux d'élevage et d'épandre les fumiers sur les terres agricoles sans risque, mais de mauvaises pratiques agricoles ou les pluies et le ruissellement des eaux de surface peuvent donner lieu à des flux de pollution fécale vers les écosystèmes aquatiques, en aval. Les collectivités doivent pouvoir retracer rapidement les sources de pollution fécale issue du bétail pour prévenir la contamination des eaux de boisson, des eaux d'irrigation et des eaux récréatives. Les élevages d'animaux comme les bovins, le porc et la volaille étant de plus en plus intensifs, d'importants défis en matière de gestion des déchets animaux devront être relevés. Dans la gestion des écosystèmes aquatiques dans les bassins hydrographiques agricoles, on devra considérer les sources potentielles de pollution fécale due au bétail (p. ex. les fèces dans les pâturages et les bassins à déjections) et le moment d'événements comme l'épandage du fumier dans la recherche des sources potentielles de pollution fécale.



Katrin Nagelschmitz, de la Direction générale des politiques stratégiques d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, a brossé un tableau de la diversité et des effectifs des animaux d'élevage dans les régions agricoles du Canada. Le nombre d'animaux d'élevage s'est accru au Canada durant les dernières décennies. Cependant, l'impact de cette tendance n'est pas le même partout au pays. Le changement des densités d'animaux et de la production de fumier varie selon les régions. L'évolution observée est attribuable à des changements technologiques et structurels dans le secteur de l'élevage. La tendance est aux grandes fermes spécialisées utilisant une superficie immédiate plus petite.

Faune

La pollution fécale issue de la faune est imprévisible et difficile à dépister, et on ne peut véritablement la maîtriser ou la réduire au moyen des méthodes ordinaires de traitement des déchets. On assiste actuellement à une croissance importante des effectifs d'oiseaux comme les goélands et les bernaches du Canada dans bon nombre de régions du pays. Là où des écosystèmes aquatiques se trouvent à proximité de grandes populations fauniques (p. ex. de colonies d'oiseaux), on doit s'efforcer de surveiller les populations en question, leurs déjections et leurs déplacements saisonniers ou caractéristiques comportementales qui peuvent contribuer à la contamination fécale.

Le Dr Tom Edge, de l'Institut national de recherche sur les eaux d'Environnement Canada, à Burlington (Ontario), a fait une présentation de remplacement sur les sources fauniques de contamination fécale. Il a été démontré que la pollution fécale issue d'espèces sauvages contribue à la dégradation de la qualité des eaux récréatives dans diverses régions du Canada. Par exemple, les fientes des oiseaux qui fréquentent les zones de plage ou qui se reposent sous les ponts peuvent accroître significativement les concentrations de bactéries fécales indicatrices dans les eaux. Dans certaines régions, les efforts d'amélioration des habitats pour favoriser la biodiversité et l'établissement de bandes tampons le long des berges peuvent aussi donner lieu à un accroissement des charges de pollution fécale issue de la faune. Les études de DSPM doivent évaluer les espèces fauniques comme sources possibles de pollution fécale et déterminer l'importance des populations fauniques locales (oiseaux, comme les goélands et les oies, mammifères aquatiques, etc.) ainsi que les moments des déplacements et des migrations de ces animaux.

6. Facteurs motivant le DSPM au Canada

Le dépistage des sources de pollution microbienne s'est développé plus lentement au Canada qu'aux États-Unis. Les dispositions de la *Clean Air Act* des États Unis exigeant l'établissement de charges quotidiennes maximums totales pour les contaminants fécaux dans les bassins hydrographiques (l'objectif étant qu'on puisse se baigner et pêcher dans les eaux) ont en grande partie motivé l'application des méthodes de DSPM aux États Unis, l'impulsion pour les études de DSPM venant ainsi du sommet. Similairement, dans l'Union européenne et en Australie, ce sont des initiatives fondées sur la gestion du risque qui ont pour une bonne part motivé les recherches sur le DSPM. Par contre, il n'y a pas au Canada de législation ou d'initiatives équivalentes, de sorte que les applications du DSPM y ont été davantage motivées depuis la base, à partir des préoccupations des collectivités locales quant aux problèmes de pollution fécale, comme les fermetures de plages et de pêches des mollusques et crustacés. Ce sont ces types de problèmes touchant l'environnement qui ont fourni l'occasion de développer les connaissances scientifiques relatives au DSPM au Canada, en rapport avec la satisfaction des besoins spécifiques des utilisateurs. Avec le vieillissement de l'infrastructure de gestion des eaux usées municipales et l'intensification de l'urbanisation et des élevages au Canada, on aura de plus en plus besoin d'outils permettant de prévenir et de résoudre les problèmes de pollution fécale.

Un des principaux objectifs de l'atelier était de prendre connaissance des besoins des praticiens (gestionnaires de politiques et de programmes) en matière de dépistage des sources de contamination fécale.



Dans cette optique, un groupe d'« utilisateurs » potentiels du DSPM de tous les secteurs a formé un panel qui a été invité à présenter ses opinions sur la pertinence du DSPM. On a demandé à ces personnes de faire état de leurs besoins actuels et des problèmes et défis auxquels elles font face relativement au risque de contamination des eaux par des pathogènes dans leurs régions, et de ce qu'elles pensent de l'utilité du DSPM. Ce qui suit est une synthèse des principales observations des panélistes et de la discussion générale subséquente à laquelle tous les participants de l'atelier ont participé.

Respect des recommandations, objectifs et dispositions réglementaires concernant la pollution microbienne des eaux

Au Canada, tous les ordres de gouvernement contribuent au maintien de la salubrité des eaux. Les gouvernements provinciaux et territoriaux sont chargés de l'établissement et du respect des normes visant à assurer la salubrité de l'eau potable. Les autorités sanitaires locales surveillent aussi la qualité des eaux, comme celles des plages publiques. À l'échelon fédéral, Santé Canada collabore avec les organismes provinciaux et territoriaux pour élaborer et publier des recommandations nationales, telles que les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* et les *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada*. Ces recommandations sont utilisées par les provinces et les territoires pour les aider à établir des normes microbiologiques de qualité des eaux visant à assurer que les eaux potables et récréatives ne présentent pas des risques inacceptables pour la santé publique. Par exemple, les *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada* recommandent la tenue d'une évaluation de la salubrité de l'environnement ou d'une enquête sanitaire au début de chaque saison de baignade, une attention spéciale devant être notamment portée à la pollution fécale. De plus, Environnement Canada collabore avec d'autres organismes gouvernementaux pour mettre en œuvre la surveillance microbiologique des eaux effectuée dans le cadre du Programme canadien de contrôle sanitaire des mollusques. Pour assurer le respect des recommandations, objectifs et dispositions réglementaires des administrations fédérale, provinciales, territoriales et municipales concernant la contamination microbienne des eaux, des études de DSPM pourraient être nécessaires afin d'aider à la résolution de problèmes de pollution fécale spécifiques.

Cadre stratégique pour l'agriculture

Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux ont collaboré avec le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire depuis 2001 pour le renforcer et le revitaliser par l'entremise du nouveau Cadre stratégique pour l'agriculture (CSA) du Canada. Ce dernier vise à faire du Canada le chef de file mondial dans le domaine alimentaire aux chapitres de la salubrité, de l'innovation et du respect de l'environnement dans les activités de production. Dans le cadre du CSA, Santé Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada dirige une initiative pluriannuelle de surveillance microbiologique des eaux en vue d'obtenir une meilleure connaissance de l'impact de l'agriculture sur la fréquence, les niveaux et les sources de la contamination microbienne (fécale) aux prises d'eau potable et aux plages récréatives dans des endroits choisis au Canada. Cette vaste étude pluriannuelle, présentée à l'atelier par le Dr Ed Topp, évaluera différentes méthodes de DSPM dans divers bassins hydrographiques agricoles répartis dans le Canada. Environnement Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada travaillent également dans le cadre du CSA à établir des normes concernant l'occurrence des pathogènes aquatiques dans les bassins agricoles pour l'Initiative sur les normes agroenvironnementales nationales (INAN).

Stratégie pancanadienne sur les eaux usées municipales

Sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'environnement, les provinces, les territoires et le gouvernement fédéral sont en train d'élaborer une stratégie pancanadienne pour la gestion des effluents d'eaux usées municipales. En plus d'harmoniser le cadre réglementaire et d'élaborer des modèles de gestion du risque, cette stratégie contribuera à la coordination des activités scientifiques et des activités de recherche pertinentes. À ce dernier chapitre, la stratégie se penchera sur l'état des connaissances scientifiques et technologiques, évaluera ce qui doit être fait face aux nouveaux problèmes et recommandera des approches permettant de combler les lacunes dans les connaissances. Cette initiative pourrait permettre de promouvoir le dépistage des sources de pollution microbienne en tant qu'approche permettant de réduire de façon économique la pollution fécale issue des eaux usées municipales.

Gestion et réduction de la pollution fécale dans les collectivités locales

Selon les panélistes et les participants à l'atelier, la plus grande utilité du DSPM pourrait être qu'il permet de trouver de meilleures options de gestion et de réduction de la pollution microbienne. Par exemple, l'Accord sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs définit les secteurs préoccupants et demande aux organismes d'élaborer des plans d'assainissement et de contribuer au rétablissement des utilisations bénéfiques dégradées, qu'on pense aux fermetures de plages. La plupart des municipalités ne disposent pas des fonds nécessaires pour agir à grande échelle contre les problèmes de pollution fécale aux plages populaires. Les grands investissements dans l'infrastructure de gestion des eaux usées et des eaux pluviales sont souvent justifiés par le fait qu'ils devraient réduire le nombre de fermetures de plages en été, mais ce résultat n'est pas toujours obtenu. Il est évident que les interventions pourraient être plus promptes et qu'on pourrait faire des économies si on savait avec plus de précision si la contamination fécale à une plage donnée provient d'une zone agricole située en amont, de sources ponctuelles municipales ou d'animaux sauvages, comme des goélands ou des oies, fréquentant la plage. Pour nombre de municipalités, le simple fait de savoir si la pollution fécale est d'origine humaine ou d'origine animale peut être précieux pour orienter l'action. De même, les offices de protection de la nature d'Ontario, par exemple, pourraient mieux cibler leurs activités de réduction de la pollution issue de sources diffuses si elles savaient quels animaux constituent les sources principales des problèmes de pollution fécale. Bien qu'il n'existe pas encore de méthodes standard de DSPM fiables et prêtes à être appliquées à grande échelle, le DSPM peut, à l'échelle locale, aider à définir la réponse appropriée à un problème de pollution fécale, à établir les priorités parmi les options de réduction de la pollution et guider la détermination des besoins en matière d'investissement dans l'infrastructure.

Éducation et sensibilisation issues du DSPM

On pense que le DSPM peut contribuer à l'éducation des citoyens en ce qui concerne les dangers de la pollution microbienne. On le voit souvent quand des données de dépistage des sources peuvent être utilisées pour aider à convaincre les sceptiques de leur contribution à la pollution fécale. Comme on l'a mentionné plus haut, le DSPM peut alors aider à sensibiliser les collaborateurs aux avantages concrets de la réduction des risques microbiologiques découlant d'un ensemble de bonnes pratiques de gestion. Plus largement, le DSPM peut fournir des éléments utiles dans l'examen des nouveaux projets d'aménagement riverain dans lesquels on prévoit restaurer des habitats fauniques et favoriser le retour des oiseaux à proximité de plages fortement fréquentées par le public.

Aide à la planification de la protection des sources d'approvisionnement en eau

Pour mieux protéger l'eau potable, de nombreux gouvernements provinciaux instituent des dispositions législatives ou des lignes directrices concernant la création de plans de protection des sources d'approvisionnement en eau à l'échelle des bassins hydrographiques. Dans bon nombre de ces plans, on propose la caractérisation microbiologique des sources d'approvisionnement en eau municipales, avec dans certains cas la délimitation des zones à risque quant à la présence de pathogènes, en plus de la spécification des façons dont les meilleures pratiques de gestion peuvent être utilisées pour réduire la charge de pathogènes. Dans le cas de l'Ontario, on prévoit fournir de la documentation sur des questions précises pour aider les municipalités à élaborer ces plans, et il est possible que des études de DSPM soient intégrées à un guide axé sur les pathogènes.

7. Conclusions

Suite aux premières études de dépistage des sources de pollution microbienne réalisées dans les années 1990, on avait grand espoir que les outils de DSPM allaient éventuellement permettre de résoudre les problèmes complexes de dépistage des sources de pollution fécale. Les études de laboratoire plus récentes, utilisant des protocoles expérimentaux rigoureux, ont toutefois révélé que les méthodes de DSPM existantes comportent des limitations (Griffith et al., 2003; Stoeckel et al., 2004). On a alors pensé que ces études récentes jetaient une « douche froide » sur le DSPM, particulièrement pour ce qui est des études portant sur de grands bassins hydrographiques comportant des sources complexes de contamination fécale. Cependant, le domaine du dépistage des sources de pollution microbienne évolue, et de nouvelles techniques issues de percées scientifiques, notamment en génomique (p. ex. puces à ADN), pourraient enrichir la boîte à outils du DSPM dans le futur. En outre, des méthodes de DSPM ont déjà été appliquées avec succès à plusieurs reprises à l'échelle locale et ont contribué à l'adoption de mesures d'assainissement efficaces. Par exemple, on a présenté à l'atelier une étude de cas dans laquelle l'analyse de la résistance aux antibiotiques a permis de détecter une pollution fécale d'origine humaine inattendue, l'électrophorèse sur gel en champ pulsé a confirmé la découverte et la fluorométrie a permis de retracer la source de cette pollution.

Les participants à l'atelier ont reconnu que parmi les nombreuses méthodes constituant la boîte à outils actuelle du DSPM, aucune ne représente une « solution miracle » universellement acceptée comme la meilleure méthode. Certaines méthodes sont suffisamment au point pour faire éventuellement l'objet d'une normalisation, mais d'autres demeurent des outils de type expérimental ou devant faire l'objet de recherches supplémentaires. Des recherches additionnelles sont nécessaires pour mieux connaître les avantages et limites des méthodes de dépistage des sources de pollution microbienne, et l'application à plus grande échelle des outils de DSPM ne pourra se faire sans des méthodes normalisées et la conception soignée de protocoles expérimentaux appropriés. Dans les méthodes de DSPM utilisant une banque de matériel microbien de référence, la taille et la représentativité de cette dernière doivent être adéquates, problème non encore résolu. Par ailleurs, dans les méthodes sans banque de matériel microbien de référence, il doit y avoir validation des marqueurs spécifiques aux hôtes dans les études de terrain.

Les applications du DSPM au Canada ont été à la base davantage motivée par les préoccupations des collectivités locales concernant les fermetures de plages et de pêches des crustacés et mollusques que par des exigences réglementaires venant des autorités, comme aux États Unis. Bien qu'il n'existe pas encore de méthodes de DSPM prêtes à être appliquées à grande échelle, les méthodes de DSPM se sont déjà révélées



utiles à l'échelle locale pour aider à définir la réponse appropriée à un problème de pollution fécale, à établir les priorités parmi les options de réduction de la pollution et à orienter les investissements. L'atelier a insisté sur l'importance de faire appel à plusieurs types de données dans l'application des méthodes de DSPM pour résoudre les problèmes de dépistage des sources de pollution fécale. Les outils de DSPM peuvent certes être utiles pour résoudre ces problèmes, mais on devra veiller à ce que les collectivités qui s'y intéressent n'aient pas de trop grandes attentes à l'égard des études de DSPM pour le proche avenir.

8. Références principales

- Bernhard, A.E. et K.G. Field. 2000a. « Identification of nonpoint sources of fecal pollution in coastal waters by using host-specific 16S ribosomal DNA genetic markers from fecal anaerobes ». *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 1587-1594.
- Bernhard, A.E. et K.G. Field. 2000b. « PCR assay to discriminate human and ruminant feces on the basis of host differences in *Bacteroides-Prevotella* genes encoding 16S rRNA ». *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 4571-4574.
- Carson, C.A., B.L. Shear, M.R. Ellersieck et A. Asfaw. 2001. « Identification of fecal *Escherichia coli* from humans and animals by ribotyping ». *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 1503-1507.
- Dombek, P.E., L.K. Johnson, S.T. Zimmerley et M.J. Sadowsky. 2000. « Use of repetitive DNA sequences and the PCR to differentiate *Escherichia coli* isolates from human and animal sources ». *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 2572-2577.
- Elhmmali, M., D. Robers et R. Evershed. 2002. « Combined analysis of bile acids and sterols/stanols from riverine particulates to assess sewage discharges and other fecal sources ». *Environ. Sci. Technol.* 34: 39-46.
- Field, K.G. 2004. « Faecal source identification », chapitre 22, p. 349-366. *Dans* J.A. Cotruvo, A. Dufour, G. Rees, J. Bartram, R. Carr, D.O. Cliver, G.F. Craun, R. Fayer et V.P.J. Gannon (s. la dir. de), « Waterborne zoonoses: identification, causes and control ». Organisation mondiale de la Santé. IWA Publishing, Londres, R. U.
- Fong, T.T., D.W. Griffin et E.K. Lipp. 2005. « Molecular assays for targeting human and bovine enteric viruses in coastal waters and their application for library-independent source tracking ». *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 2070-2078.
- Glassmeyer, S.T., E.T. Furlong, D.W. Kolpin, J.D. Cahill, S.D. Zaugg, S.L. Werner, M.T. Meyer et D.D. Kryak. 2005. « Transport of chemical and microbial compounds from known wastewater discharges: potential for use as indicators of human fecal contamination ». *Environ. Sci. Technol.* 39(14): 5157-5169.
- Goss, M. et K.E. Dunfield. 2004. « Tracking sources of microbial impairment to water quality in rural Ontario ». Rapport de l'atelier tenu à l'Arboretum Centre de l'Université de Guelph, 5-6 avril 2004.
- Griffith, J.F., S.B. Weisburg et C.D. McGee. 2003. « Evaluation of microbial source tracking methods using mixed fecal sources in aqueous test samples ». *J. Water Health* 1: 141-151.
- Guan, S., R. Xu, S. Chen, J. Odumeru et C. Gyles. 2002. « Development of a procedure for discriminating among *Escherichia coli* isolates from animal and human sources ». *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 2690-2698.
- Hagedorn, C., J.B. Crozier, K.A. Mentz, A.M. Booth, A.K. Graves, N.J. Nelson et R.B. Reneau. 2003. « Carbon source utilization profiles as a method to identify sources of faecal pollution in water ». *J. Appl. Microbiol.* 94: 792-799.
- Hagedorn, C.S., S.L. Robinson, J.R. Filtz, S.M. Grubbs, T.A. Angier et R.B. Reneau. 1999. « Using antibiotic resistance patterns in the fecal streptococci to determine sources of fecal pollution in a rural Virginia watershed ». *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 5522-5531.
- Harwood, V.J., J. Whitlock et V. Withington. 2000. « Classification of antibiotic resistance patterns of indicator bacteria by discriminant analysis: use in predicting the source of fecal contamination in subtropical waters ». *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 3698-3704.
- Health Canada et Agriculture and Agri-Food Canada. 2004. « A pilot project to study the impact of agriculture on the prevalence, levels and sources of microbiological (fecal) contamination at drinking water supply intake points and recreational beaches at selected sites across Canada. Microbial Source Tracking Workshop: Summary of Proceedings ». Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Programme de la sécurité des milieux, Santé Canada et Centre de recherches sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 19-20 juin 2003, Ottawa, Ontario. 30 p.

- Jiang, J., K.A. Alderisio et L. Xiao. 2005. « Distribution of *Cryptosporidium* genotypes in storm event water samples from three watersheds in New York ». *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 4446-4454.
- Johnson, L.K., M.B. Brown, E.A. Carruthers, J.A. Ferguson, P.E. Dombek et M.J. Sadowsky. 2004. « Sample size, library composition, and genotypic diversity among natural populations of *Escherichia coli* from different animals influence accuracy of determining sources of fecal pollution ». *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 4478-4485.
- Khatib, L.A., Y.L. Tsai et B.H. Olson. 2002. « A biomarker for the identification of cattle fecal pollution in water using the LTIIa toxin gene from enterotoxigenic *Escherichia coli* ». *Appl. Microbiol. Biotech.* 59: 97-104.
- Khatib, L.A., Y.L. Tsai et B.H. Olson. 2003. « A biomarker for the identification of swine fecal pollution in water, using the STII toxin gene from enterotoxigenic *Escherichia coli* ». *Appl. Microbiol. Biotech.* 63: 231-238.
- Kuntz, R.L., P.G. Hartel, D.G. Godfrey, J.L. McDonald, K.W. Gates et W.I. Segars. 2003. « Targeted sampling protocol with *Enterococcus faecalis* for bacterial source tracking ». *J. Environ. Qual.* 32: 2311-2318.
- Leung, K.T., R. Mackereth, Y.-C. Tien et E. Topp. 2004. « A comparison of AFLP and ERIC-PCR analyses for discriminating *Escherichia coli* from cattle, pig and human sources ». *FEMS Microbiol. Ecol.* 47: 111-119.
- Martellini, A., P. Payment et R. Villemur. 2005. « Use of eukaryotic mitochondrial DNA to differentiate human, bovine, porcine and ovine sources in fecally contaminated surface water ». *Water Res.* 39: 541-548.
- OMOE. 2005. « Sources and mechanisms of delivery of *E. coli* (bacteria) pollution to the Lake Huron shoreline of Huron County ». Ministère de l'Environnement de l'Ontario. 265 p.
- Payan, A., J. Ebdon, H. Taylor, C. Gantzer, J. Ottoson, G.T. Papageorgiou, A.R. Blanch, F. Lucena, J. Jofre et M. Muniesa. 2005. « Method for isolation of *Bacteriodes* bacteriophage host strains suitable for tracking sources of fecal pollution in water ». *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 5659-5662.
- Roser, D.J., N.J. Ashbolt, R. Leeming, R. Kagi et T.D. Waite. 2003. « Fingerprinting using sterols and particle size analyses and the management of faecal pollution and turbidity », p. 355-362, volume 2. Dans M.J. Boyd, J.E. Ball, M.K. Babister et J. Green (s. la dir. de), « 28th International Hydrology and Water Resources Symposium ». Institution of Engineers, Australie.
- Scott, T.M., T.M. Jenkins, J. Lukasik et J.B. Rose. 2005. « Potential use of a host associated molecular marker in *Enterococcus faecium* as an index of human fecal pollution ». *Environ. Sci. Technol.* 39: 283-287.
- Scott, T.M., J.B. Rose, T.M. Jenkins, S.R. Farrah et J. Lukasik. 2002. « Microbial source tracking: current methodology and future directions ». *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 5796-5803.
- Simpson, J.M., J.W. Santo Domingo et D.J. Reasoner. 2002. « Microbial source tracking: state of the science ». *Environ. Sci. Technol.* 36: 5279-5288.
- Stoeckel, D.M., M.V. Mathes, K.E. Hyer, C. Hagedorn, H. Kator, J. Lukasik, T.L. O'Brien, T.W. Fenger, M. Samadpour, K.M. Strickler et B.A. Wiggins. 2004. « Comparison of seven protocols to identify fecal contamination sources using *Escherichia coli* ». *Environ. Sci. Technol.* 38: 6109-6117.
- Sullivan, D. 2004. « Microbial source tracking (MST): towards effective identification of fecal pollution sources. MST Applications Workshop Final Report ». Clean Annapolis River Project. 14-15 avril 2004, Wolfville, Nouvelle Écosse. Cat. No. En4-45/2004E. 44 p.
- U.S. EPA. 2005. « Microbial source tracking guide ». Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA/600-R-05-064. 150 p.
- Wiggins, B.A. 1996. « Discriminant analysis of antibiotic resistance patterns in fecal streptococci, a method to differentiate human and animal sources of fecal pollution in natural waters ». *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 3997-4002.

Annexe A – Programme de l'atelier

Atelier sur les sciences de l'eau et les politiques

Le dépistage des sources de pollution microbienne dans les écosystèmes aquatiques : état de la science et évaluation des besoins

Council Chambers, Toronto Metro Hall
55 John Street, Toronto (Ontario)
Les 7 et 8 mars 2005

JOUR 1 – « Évaluation de la science du DSPM »

8h30 Mot de bienvenue

Aperçu du DSPM

8h35 Aperçu de l'atelier
Dr Tom Edge, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario)

9h00 Vers l'identification des sources de pollution fécale
Dr Jorge Santo Domingo, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio

9h30 Besoins en DSPM pour les plans de salubrité de l'eau de l'OMS : approche chimique ou microbiologique?
Dr Nick Ashbolt, University of New South Wales, Sydney, Australie

10h00 Pause café

Évaluation de la science du DSPM (état de la science et applicabilité actuelle à grande échelle)

10h30 Le programme national de surveillance de la qualité des eaux : plateforme de recherche pour le DSPM
Dr Ed Topp, Agriculture et Agroalimentaire Canada, London (Ontario)

11h00 Étude d'évaluation des méthodes de DSPM du SCCWRP de 2003 : validation ou calibration?
Dr John Griffith, Southern California Coastal Research Project, Westminster, Californie

11h30 Évaluation du dépistage des sources de pollution microbienne basé sur les *E. coli* utilisant une banque de matériel microbien de référence
Dr Don Stoeckel, U.S. Geological Survey, Columbus, Ohio

12h00 Dîner

13h00 Utilisation des puces à ADN dans le dépistage des sources de pollution bactérienne : problèmes et perspectives
Dr Roland Brousseau, Conseil national de recherches du Canada, Montréal, Québec

13h30 Utilisation des parasites aquatiques *Cryptosporidium* et *Giardia* comme agents de dépistage des sources de pollution microbienne
Dr Norm Neumann, Provincial Lab, Calgary, Alberta

14h00 Dépistage des sources : il n'y a pas que les microbes pour nous aider
Dr Pierre Payment, Institut national de la recherche scientifique (INRS), Laval, Québec

14h30 Pause café

Études de cas (évaluation des défis et limites du DSPM)

14h45 Identification, confirmation et atténuation des sources de pollution fécale dans l'eau
Dr Chuck Hagedorn, Virginia Tech, Blacksburg, Virginie

15h30 Étude de cas concernant la fermeture de plages (échelle urbaine)
Ted Bowering, Toronto Water et Dr Tom Edge, INRE, Burlington

15h50 La pollution fécale des eaux riveraines du sud est du lac Huron : le défi d'en trouver l'origine
Dr Todd Howell, ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (Ontario)

16h10 Association entre des pathogènes bactériens zoonotiques et des marqueurs fécaux de l'homme et des ruminants associés aux *Bacteroides* Prevotella dans le bassin de la rivière Oldman, dans le sud de l'Alberta
Dr Vic Gannon, Agence de santé publique du Canada, Lethbridge (Alberta)

16h30 – 17h00 Discussion en plénière sur les études de cas

JOUR 2 – « Évaluation des besoins en DSPM »

Sommaire de l'état de la science du DSPM

- 8h30 Bref résumé de l'état de la science du DSPM (fondé sur les activités du jour 1)
- 9h00 Résultats de l'atelier de la WERF tenu du 16 au 18 février 2005
Dr Paul Rochelle, Metropolitan Water District of S. California, La Verne, Californie
Discussion en plénière sur l'état de la science du DSPM
- 10h00 Pause café

Évaluation des besoins en dépistage des sources de pollution fécale (tendances, défis, atténuation)

- 10h30 Évaluation des sources urbaines de contamination fécale associée aux pluies : égouts pluviaux et trop pleins d'égout unitaire
Dr Jiri Marsalek, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario)
- 11h00 Tendances de la répartition et des effectifs des animaux d'élevage au Canada
Katrín Nagelschmitz, Direction générale des politiques stratégiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada
- 11h30 Évaluation des sources fauniques – (à confirmer)
- 12h00 Dîner
- 13h00 Panel sur les facteurs motivant le DSPM en rapport avec la qualité des eaux au Canada**
Présentations brèves (5 minutes) et discussion sur les besoins, les pressions, les exigences réglementaires ou les besoins en recherche en matière de dépistage des sources de pollution fécale du point de vue des municipalités, des offices de protection de la nature et des gouvernements provinciaux et fédéral.

Participants au panel

- Will Robertson - Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Santé Canada
- À confirmer - Agriculture et Agroalimentaire Canada
- À confirmer - Environnement Canada
- Renée Bowler - Division de la gestion de l'eau potable, ministère de l'Environnement de l'Ontario
- Norm Neumann - Provincial Lab, Alberta
- Michael D'Andrea - Toronto Water, City of Toronto
- Tim Van Seters - Water Quality and Monitoring, TRCA

Prochaines étapes

- 14h30 Résumé de l'atelier et indication des prochaines étapes
- 15h00 Récapitulation de l'atelier

Annexe B – Liste des participants à l’atelier

* conférenciers/panélistes; ** comité d’organisation de l’atelier; *** promoteurs de l’atelier

Provinces

Kevin Rieberger, B.C. Min. of Water, Land and Air Protection
Norm Neumann *, Prov. (Alberta) Lab. for Public Health
Wendy Ralley, Manitoba Water Stewardship
John Lynch, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Susan Weir, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Todd Howell * ** ***, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Brian Whitehead, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Ted Briggs, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Renée Bowler *, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Cecily Flemming, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Ann Marie Weselan, ministère de l’Environnement de l’Ontario
Stewart Sweeney *, ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation de l’Ontario
John Drage, Nova Scotia Environment and Labour
Martin Goebel, Newfoundland and Labrador Department of Environment and Conservation

Offices de protection de la nature d’Ontario

Mari Veliz, Ausable Bayfield Conservation Authority
Karen Maaskant, Upper Thames River Conservation Authority
Sandra Cooke, Grand River Conservation Authority
Tim Van Seters *, Toronto and Region Conservation Authority

Administrations municipales et régionales

Pat Chessie ** ***, City of Toronto
Ilze Andzans, City of Toronto
Ted Bowering *, City of Toronto
William Snodgrass, City of Toronto
Peter Gauthier, City of Toronto
Mahesh Patel, City of Toronto
Janis Cumin, City of Owen Sound
Jason Culp, City of St. Catharines

Ministères fédéraux

Teresa Brooks, Santé Canada
Will Robertson * **, Santé Canada
Vic Gannon * **, Agence de santé publique du Canada
Ed Topp * **, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Katrin Nagelschmitz *, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Roland Brousseau *, Conseil national de recherches du Canada
Tom Edge * ** ***, Environnement Canada-INRE

Karl Schaefer **, Environnement Canada-Liaison S-T
Rob Phillips, Environnement Canada-INRE
Jim Maguire, Environnement Canada-INRE
Jiri Marsalek *, Environnement Canada-INRE
Allan Crowe, Environnement Canada-INRE
Jim Sherry, Environnement Canada-INRE
Heather Osachoff, Environnement Canada-RPY
M.T. Grant, Environnement Canada-RA
Sandra Kok ** ***, Environnement Canada-RO-FDGL
Thomas Tseng, Environnement Canada-RO
Janette Anderson, Environnement Canada-RO
Lorraine Standing, Environnement Canada-SPE
Elaine McKnight, Environnement Canada-SPE

Associations professionnelles

Catherine Jefferson, Association canadienne des eaux potables et usées
Cindy Toth, Water Environment Association of Ontario et Town of Oakville
Ian McIlwham, Water Environment Association of Ontario et Region of Durham
Mary Jane Conboy, Fédération de l'agriculture de l'Ontario
Sarah Winterton, Environmental Defence
Jeff Ridal, Institut des sciences environnementales du fleuve Saint-Laurent
Keith Sherman, Severn Sound Environmental Association

Universités

Greg Bezanson, Université Acadia
Pierre Payment *, Institut national de la recherche scientifique (INRS)
Corinne Ong, Université de Colombie-Britannique
Richard Nordin, Université de Victoria
Shu Chen, Université de Guelph
Kari Dunfield, Université de Guelph
Michele Van Dyke, Université de Waterloo

Invités étrangers

Don Stoeckel *, U.S. Geological Survey
John Griffith *, Southern California Coastal Water Research Project
Mike Jenkins *, U.S. Department of Agriculture
Cindy Nakatsu, Purdue University
Valerie J. Harwood *, University of South Florida
Charles Hagedorn *, Virginia Tech
Paul Rochelle *, Metropolitan Water District of Southern California
Nick Ashbolt *, The University of New South Wales