



COMPRENDRE ET OPTIMISER LE RENDEMENT

DES ÉTANGS DE STABILISATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES DANS LE GRAND NORD

ROB JAMIESON, UNIVERSITÉ DALHOUSIE

Recherche effectuée de 2011 à 2014



Réseau
canadien
de l'eau

ROB JAMIESON, DALHOUSIE UNIVERSITY

Recherche effectuée de 2011 à 2014

POURQUOI AVONS-NOUS RÉALISÉ CETTE RECHERCHE?

En 2012, Environnement Canada a adopté une réglementation nationale pour les systèmes d'assainissement des eaux usées municipales. Selon le nouveau *Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées*, tout système municipal recueillant un volume journalier supérieur à 100 m³/j d'eaux usées doit se conformer aux normes de rendement nationales, notamment les limites de rejet suivantes :

- rejet maximal de 25 mg/L sur cinq jours de la demande biochimique en oxygène des matières carbonées sur cinq jours (DBOC₅)
- concentration totale maximale de matières en suspension (MES) de 25 mg/L
- concentration maximale d'azote ammoniacal non ionisé (NH₃-N) de 1,25 mg/L

Dans le Grand Nord canadien, les collectivités ont obtenu une période de grâce pendant laquelle elles ont été temporairement exemptées du *Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées*. Cette exemption a été accordée au Nunavut, aux Territoires du Nord-Ouest, aux municipalités situées au nord du 54^e parallèle au Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador, compte tenu des défis uniques associés à la gestion des eaux usées dans le Grand Nord canadien. Normalement, les collectivités nordiques éloignées utilisent des systèmes de traitement passif, comme des étangs de stabilisation, car ils sont beaucoup plus faciles à exploiter et à entretenir. Toutefois, jusqu'à tout récemment, on ne disposait d'aucune information concernant le rendement prévu et les mécanismes de traitement des systèmes passifs dans les climats arctiques. La période de grâce accordée a permis d'effectuer des recherches sur les systèmes nordiques, afin de fournir des données visant à déterminer des normes appropriées pour le traitement et la surveillance.

Dans le cadre du présent projet (2011-2015) axé sur les étangs de stabilisation pour le traitement des eaux usées municipales dans des climats arctiques, nos principaux objectifs étaient les suivants :

- évaluer le rendement du traitement des étangs actuels de stabilisation dans le Grand Nord canadien;
- déterminer l'influence des facteurs environnementaux, conceptuels et opérationnels sur le rendement du traitement;
- élaborer des recommandations pour améliorer la conception des étangs actuels et nouveaux dans le Grand Nord.

L'information issue de cette recherche servira à orienter l'élaboration de normes de conception des bassins et de règlements appropriés qui vont assurer un traitement adéquat des eaux usées dans les collectivités nordiques.

COMMENT SE FAIT HABITUELLEMENT LA GESTION DES EAUX USÉES DANS LE GRAND NORD CANADIEN?

La gestion des eaux usées dans le Nord du Canada est difficile pour bon nombre de raisons, dont le froid extrême, la présence de pergélisol, la pénurie d'opérateurs qualifiés, les saisons estivales de courte durée (l'activité biologique ne se produit que pendant trois mois de l'année) et des populations relativement petites. Puisque de nombreuses collectivités ne sont accessibles qu'en bateau ou en avion, il est coûteux et difficile de construire, exploiter et maintenir des infrastructures. Pour ces raisons, les collectivités nordiques canadiennes sont nombreuses à utiliser des technologies de traitement passif dont les coûts d'exploitation et les exigences en matière de produits chimiques et de consommation d'énergie sont minimales.

Étant donnée la présence de pergélisol, les services d'eau potable et d'eaux usées sont habituellement fournis sans le recours aux systèmes de distribution de l'eau potable et de collecte des eaux usées par canalisations. On utilise plutôt un système de transport par camion et les maisons sont munies de réservoirs distincts pour l'eau potable et pour les eaux usées. Les livraisons d'eau potable et les collectes d'eaux usées se font plusieurs fois par semaine. La consommation d'eau dans les collectivités



Figure 1. Photographie aérienne de l'étang simple de stabilisation des eaux usées à Pond Inlet, au Nunavut.

utilisant les systèmes de transport par camion est environ trois fois moindre que la moyenne nationale canadienne et les eaux usées brutes produites sont plus concentrées que dans les collectivités canadiennes situées plus au sud.

Les 25 collectivités du Nunavut utilisent en majorité des technologies passives comme des étangs (ou bassins) de stabilisation des eaux usées, seules ou en combinaison avec une zone de traitement en milieu humide. Les étangs de stabilisation constituent l'élément principal des systèmes de traitement dans le Nord, puisque dans la plupart des cas ils sont l'unique forme conçue pour le traitement. Seules trois collectivités au Nunavut utilisent une forme quelconque de traitement mécanique, puisque les coûts connexes d'immobilisation et de maintenance sont excessivement élevés et les besoins en matière de supervision technique et d'optimisation sont importants.

Au Nunavut, les étangs de stabilisation sont actuellement conçus comme des bassins simples de rétention à décharge contrôlée, avec des capacités de stockage des eaux usées qui s'accumulent sur une période complète d'une année. Les eaux usées sont stockées congelées pendant environ neuf mois par année (d'octobre à juin) et la décharge se fait habituellement à la fin de la période de trois mois libre de glace (juillet à septembre).

À l'occasion, d'autres bassins de rétention sont intégrés au système de traitement; ces bassins additionnels peuvent être exploités en série ou en parallèle. Ces bassins ne sont pas munis de systèmes d'aération mécanique et ils dépendent des algues pour l'introduction d'oxygène dans le système par le biais du processus de photosynthèse. Si la conception d'un étang de stabilisation pour tirer profit au maximum des avantages associés à la croissance des algues est bien établie pour les climats plus tempérés, l'applicabilité de ces directives de conception pour les étangs en climat arctique n'a jamais fait l'objet d'évaluation.

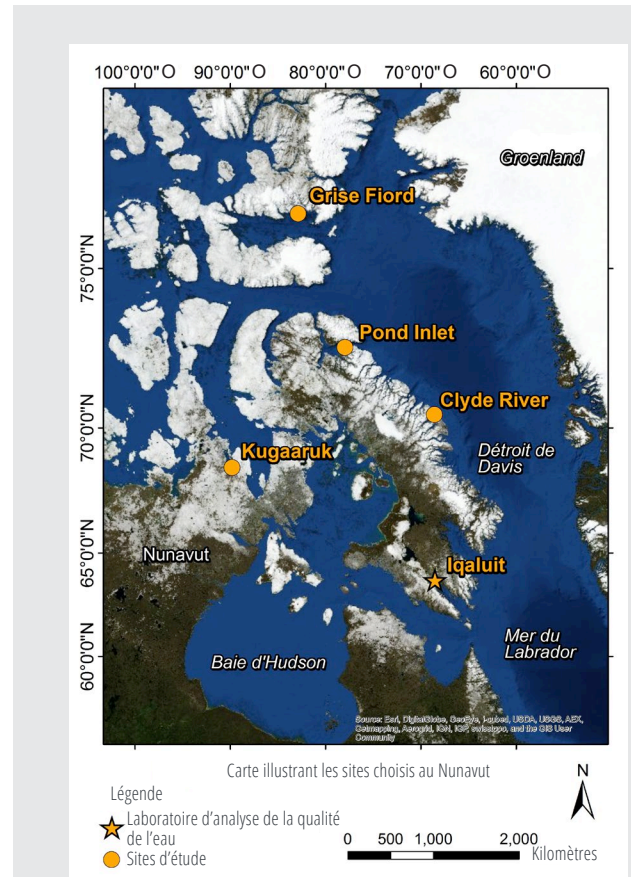


Figure 2. Sites d'étude au Nunavut

QUEL EST LE RENDEMENT DE CES SYSTÈMES?

Nous avons réalisé notre travail sur le terrain de 2011 à 2014 dans plusieurs étangs de stabilisation des eaux usées au Nunavut — Pond Inlet, Clyde River, Kugaaruk et Grise Fiord. Nous avons choisi ces sites d'étude pour représenter un vaste territoire géographique et différentes caractéristiques de conception et d'exploitation. Les travaux de surveillance étaient axés sur la caractérisation des processus physiques, chimiques et biologiques se produisant dans les étangs de stabilisation, de la fonte printanière (fin juin à début juillet) à la décantation automnale (fin d'août à début septembre).

Nous avons installé des sondes *in situ* au début de la saison estivale de traitement. Les sondes ont mesuré et enregistré en continu la température, le pH, la conductivité spécifique et l'oxygène dissous (OD). Ces paramètres ont fourni une indication du milieu biogéochimique des étangs de stabilisation des eaux usées. Nous avons catégorisé l'état d'oxygénation des systèmes (c.-à-d., anaérobie, anaérobie facultatif, aérobie) puisque cela a une grande influence sur les taux de traitement.

Chaque système a fait l'objet d'un échantillonnage au début et à la fin de la saison de traitement. Les échantillons d'eaux usées brutes ont été recueillis directement des camions déchargeant leur contenu dans les bassins, ainsi qu'à plusieurs endroits dans les bassins. Les échantillons ainsi recueillis ont été transportés dans des glacières réfrigérées par avion aux laboratoires d'analyse à Iqaluit ou Yellowknife. Étant donné l'emplacement très reculé de Grise Fiord, un petit laboratoire temporaire y a été installé pour analyser les échantillons sur place. L'analyse des échantillons incluait la DBOC₅, les MES, *Escherichia coli* (*E. coli*), l'azote ammoniacal total, le NH₃-N et le phosphore total (PT). Des échantillons additionnels ont aussi été recueillis pour l'identification et le dénombrement des espèces d'algues présentes dans les étangs de stabilisation et pour la détection de plusieurs bactéries pathogènes.

Selon nos recherches, les étangs simples de stabilisation des eaux usées retirent avec efficacité les MES, mais peinent à réduire la DBOC₅ et les concentrations de bactéries et de nutriments à des niveaux conformes aux normes de rendement pour

les systèmes de traitement secondaire des eaux usées, telles que définies dans le Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées. De nombreux facteurs ont affecté le rendement du traitement, notamment les taux de charge organique, la qualité des eaux usées brutes, les populations d'algues, la profondeur de l'eau, les conditions climatiques et l'entretien et l'exploitation des bassins.

Dans la plupart des cas, les étangs de stabilisation étaient en conditions anaérobies, même s'ils avaient été conçus pour produire un milieu facultatif. L'absence de grandes populations d'algues, et donc d'oxygène, nous indique que les normes de conception pour les étangs de stabilisation qui ont été adoptées des régions du sud ne sont pas appropriées pour les systèmes nordiques. Dans ces conditions climatiques extrêmes, les processus de traitement biologique sont limités à des périodes relativement courtes (environ 60 jours) où la température moyenne de l'air est inférieure à 10 °C. Dans ces conditions, la croissance des algues et des bactéries est lente. D'après les constantes de taux de traitement que nous avons observées, les eaux usées devraient être stockées et traitées pendant trois saisons estivales afin d'être conformes aux normes de rendement du Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées en ce qui concerne la DBOC₅.

La profondeur de l'eau dans le bassin jouait aussi un rôle important dans le rendement du traitement. Les bassins peu profonds favorisaient l'activité biologique, bien qu'à un rythme lent, ce qui donnait une meilleure réduction de la DBOC₅, tandis que les bassins profonds favorisaient le dépôt des solides et donc des concentrations inférieures de MES. En ce qui concerne les nutriments, l'élimination de l'azote était de faible à modérée, avec un certain degré de traitement se produisant uniquement dans les bassins peu profonds. Les concentrations d'ammoniac non ionisé étaient généralement inférieures à 1,25 mg/L NH₃-N à cause du pH presque neutre.

| PARAMÈTRE | PEU PROFOND (< 2,5 m) | PROFOND (> 2,5 m) |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| DBOC ₅ (mg/L) | 80 – 120 | 120 – 160 |
| MES (mg/L) | 50 – 100 | 25 – 50 |
| AAT (% d'enlèvement) | 10 – 25 | 0 |
| NH ₃ -N (mg/L) | < 1,25 | < 1,25 |

Tableau 1. Sommaire de la qualité prévue de l'effluent dans les étangs de stabilisation actuellement en usage au Nunavut.

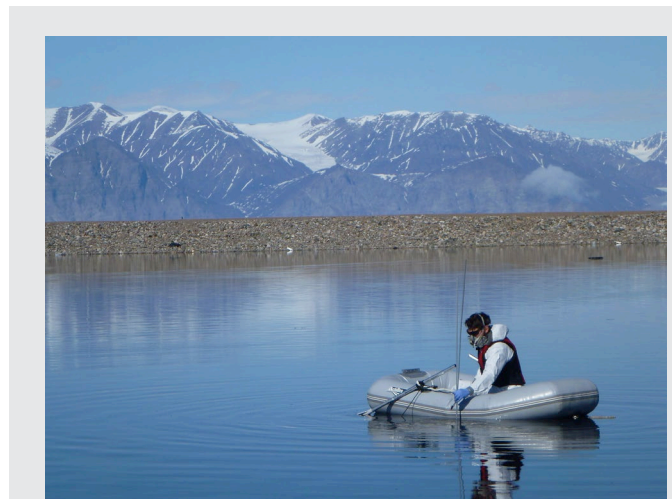


Figure 3. Photographie illustrant la collecte des échantillons dans l'étang de stabilisation des eaux usées de Pond Inlet, au Nunavut

L'efficacité de l'élimination du phosphore était très variable, soit de 24 à 76 %. L'élimination la plus importante a eu lieu dans un système où il y avait une croissance d'algues (Grise Fiord). Nous avons recueilli des échantillons de boues de plusieurs étangs de stabilisation et les avons analysés pour déterminer les diverses formes de phosphore, dans l'intention de cerner des mécanismes spécifiques de traitement de cet élément. Cette analyse a permis de confirmer que les mécanismes biologiques (c.-à-d. l'assimilation par les algues) étaient largement responsables de l'élimination du phosphore dans ces systèmes. Quant à l'élimination des microorganismes entériques, les conceptions actuelles des étangs de stabilisation permettent généralement des efficacités d'élimination de 1 à 2 log des organismes indicateurs (*E. coli*). Dans les systèmes étudiés, plusieurs espèces de bactéries pathogènes (*campylobacter*, *salmonella*) étaient encore présentes dans l'effluent à la fin de la période estivale de traitement.

COMMENT PEUT-ON AMÉLIORER LE TRAITEMENT?

CROISSANCE ACCRUE DES ALGUES

Nous avons réalisé une série d'expériences dans des modèles réduits d'étangs de stabilisation dans des conditions climatiques (température et lumière) et des conditions de charge organique étroitement contrôlées. Des eaux usées synthétiques ont été produites en laboratoire pour imiter le mieux possible les eaux usées des étangs de stabilisation dans le Nord. Les étangs modèles ont été placés dans une salle froide à climat contrôlé et soumis à des bancs de lumière LED pour simuler l'éclairage énergétique dans l'Arctique.



Figure 4. Photographie de l'étang de stabilisation de Grise Fiord, au Nunavut, la collectivité la plus nordique du Canada

Des bactéries et des algues récupérées des étangs de stabilisation arctiques ont été ajoutées aux colonnes pour fournir les populations biologiques d'ensemencement. Nous avons utilisé une analyse factorielle pour évaluer comment la température, l'éclairage énergétique, la concentration initiale en carbone et le taux quotidien de charge organique affectaient les populations d'algues, les taux d'oxygène dissous et la diminution de la $DBOC_5$. Les expériences ont prouvé que la croissance des algues est le maillon critique pour améliorer le traitement dans les étangs de stabilisation dans l'Arctique.

Les étangs modèles qui avaient de plus fortes concentrations initiales en carbone organique au début de la saison de traitement et des taux élevés de charge organique quotidienne (ce qui est typique des étangs de stabilisation actuels) avaient peu de croissance d'algues, des conditions anaérobies et une piètre réduction de la $DBOC_5$. Quand on diminuait les concentrations initiales de carbone organique et les taux de charge organique, les populations d'algues florissaient, les systèmes étaient aérobies et les concentrations de $DBOC_5$ atteignaient presque 25 mg/L dans une fenêtre de traitement de 40 jours. Comme prévu, la température a fortement affecté les processus biologiques, avec moins de traitement à de basses températures (5 °C). Par conséquent, la conception de nouveaux systèmes devrait être suffisamment résiliente pour fournir un traitement dans toutes les conditions climatiques.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE À FILM FIXE

Il est bien connu que les systèmes de traitement biologique à film fixe sont plus efficaces pour traiter les eaux usées à cause du contact accru entre les microorganismes et les constituants des eaux usées. Une façon simple d'incorporer ce type de mécanisme de traitement dans une conception d'étang de stabilisation nordique est de placer un filtre géotextile au sein ou à la surface d'une berme perméable de l'étang. Après la fonte printanière, l'effluent dans l'étang s'exfiltrerait à travers le géotextile et la berme à un taux contrôlé. L'effluent serait traité par des processus physiques et biologiques en coulant à travers le géotextile, et il n'y aurait pas besoin de système de pompage mécanique pour décanter l'effluent de l'étang de stabilisation.

Ce qu'il importe de savoir concernant cette approche, c'est si un biofilm adéquat peut se former sur le géotextile dans les limites de température et de temps d'un été arctique. Nous avons construit une série de cellules d'essai pour simuler une berme de matière granulaire tapissée d'un géotextile que nous avons placée dans une salle froide à climat contrôlé pour simuler les conditions de température dans l'Arctique. Nous avons ensuite appliqué des eaux usées municipales ayant subi un traitement primaire aux colonnes à des taux contrôlés. Nous avons mesuré à intervalles réguliers la qualité de l'eau de l'effluent et la conductivité hydraulique du géotextile.

Les résultats ont indiqué qu'il est possible de former un « lit biologique » sur un géotextile pendant la période de trois mois aux températures courantes dans les collectivités arctiques (2-10 °C). La formation d'un lit biologique fournit les avantages d'un traitement biologique à film fixe à la surface du géotextile et la filtration des eaux usées exfiltrées. On a observé d'importantes différences dans l'amélioration de la qualité de l'eau (pour les MES et la $DBOC_5$) dans les colonnes avec géotextile comparativement aux colonnes de contrôle (sans géotextile). Les résultats de cette étude sont prometteurs pour l'amélioration de la conception des étangs de stabilisation des eaux usées en y incorporant d'autres technologies de traitement passif.

QU'EST-CE QUE CES RÉSULTATS SIGNIFIENT POUR LA GESTION DES EAUX USÉES DANS LE GRAND NORD?

Les étangs de stabilisations actuellement utilisés pour la gestion des eaux usées municipales dans le Grand Nord peuvent fournir un traitement primaire fiable. Des processus de traitement biologique ont lieu dans certains de ces systèmes, mais à des taux très lents.

La façon de concevoir les étangs de stabilisation dans le Nord devra être améliorée pour permettre des taux accrus de traitement biologique qui respectent les normes de traitement secondaire prescrites par le Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées. Les conceptions actuelles ne permettent pas de favoriser de façon constante la croissance des algues, ce qui signifie que ces systèmes ont des concentrations négligeables d'oxygène dissous.

Les niveaux élevés de $DBOC_5$ dans les étangs actuels au début de la saison estivale de traitement limitent la croissance des algues, ce qui donne lieu à des conditions anaérobies et à des taux de traitement réduits de la $DBOC_5$.

- Pour résoudre ce problème, les futurs étangs de stabilisation des eaux usées devraient être conçus comme des systèmes à plusieurs étangs. Le premier étang devrait être un bassin anaérobie peu profond (< 4 m), d'une taille permettant d'accueillir les eaux usées générées pendant la saison dormante, d'octobre à juin. L'effluent de cet étang pourrait ensuite être décanté dans d'autres étangs facultatifs peu profonds (< 1,5 m) pendant la saison estivale de traitement.
- Des géotextiles devraient aussi être installés sur des bermes extrafiltrantes spécialement conçues dans les étangs facultatifs, pour permettre l'élimination des solides et fournir un traitement biologique additionnel avant la décharge.

Ce projet a démontré que des étangs de stabilisation des eaux usées qui sont bien conçus et de taille adéquate pourraient satisfaire aux normes de traitement secondaire afférentes à la $DBOC_5$ telles qu'énoncées dans les normes nationales de rendement du Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées (< 25 mg/L), même dans des conditions arctiques adverses, lorsque les températures sont inférieures à 5 °C pendant la saison estivale de traitement. Des études pilotes devraient être conçues et mises en œuvre dans les collectivités arctiques pour mettre à l'essai les améliorations à la conception d'étangs de stabilisation que nous recommandons.

POUR JOINDRE LE CHERCHEUR, PRIÈRE DE LE FAIRE PAR COURRIEL À RESEARCHSPOTLIGHT@CWN-RCE.CA. CONSULTEZ NOTRE RÉPERTOIRE DE PROJETS À CWN-RCE.CA

ÉQUIPE DE RECHERCHE

ROB JAMIESON, UNIVERSITÉ DALHOUSIE
PASCALE CHAMPAGNE, UNIVERSITÉ QUEEN'S
GEOF HALL, UNIVERSITÉ QUEEN'S

GRAHAM GAGNON, UNIVERSITÉ DALHOUSIE
LISBETH TRUDELSTRUP-HANSEN, UNIVERSITÉ DALHOUSIE
CRAIG LAKE, UNIVERSITÉ DALHOUSIE

PARTENAIRES

MINISTÈRE DES SERVICES COMMUNAUTAIRES ET GOUVERNEMENTAUX

GOUVERNEMENT DU NUNAVUT

RÉFÉRENCES

RAGUSH, C., J. SCHMIDT, W. KRKOSEK, L. TRUDELSTRUP-HANSEN, G. GAGNON, R. JAMIESON (2015). « Performance of municipal waste stabilization ponds in the Canadian Arctic », *Ecological Engineering*, vol. 83, p. 413-421.

SCHMIDT, J., C. RAGUSH, W. KRKOSEK, G. GAGNON, R. JAMIESON (2015). « Characterizing phosphorus removal in passive arctic waste stabilization ponds », *Arctic Science*. Sous presse.

HUANG, Y., C. RAGUSH, E. STEA, A. JACKSON, J. LYWOOD, R.C. JAMIESON, L. TRUDELSTRUP HANSEN (2014). Removal of human pathogens in wastewater stabilization ponds in Nunavut. Actes de conférence 2014 de la SCGC : 13th International Environmental Specialty Conference, du 28 au 31 mai 2014, Halifax (N.-É.).

BRIDSON-PATEMAN, E., R. JAMIESON, C. LAKE (2015). « Geotextile biofiltration of primary treated municipal wastewater under simulated arctic summer conditions », *Geotextiles and Geomembranes*. Sous presse.

