

Financé en partie par :
Funded in part by:

Canada



Réseau
canadien
de l'eau
Susciter l'intérêt.
Inspirer l'action.



Surveillance à long terme de l'oxyde nitreux (N_2O) à l'usine d'épuration des eaux usées de Duffin Creek

Février 2026

ÉTUDE DE CAS

ÉTUDE DE CAS

Surveillance à long terme de l'oxyde nitreux (N₂O) à l'usine d'épuration des eaux usées de Duffin Creek

Principales conclusions

- Ull est essentiel de comprendre les émissions d'oxyde nitreux, de les prévoir et de les réduire, car les services publics partout au Canada s'efforcent de réduire leur empreinte carbone.
- La surveillance et la mesure des émissions d'oxyde nitreux à l'usine d'épuration de Duffin Creek permettront de prendre des mesures visant à garantir des services sûrs, rentables et à faibles émissions.
- Des contrôles efficaces de l'aération sont importants pour contribuer à la réduction des émissions d'oxyde nitreux issues des processus de traitement des eaux usées, comme le montrent la documentation scientifique et les études de terrain.
- Les conclusions de ces travaux mettent en évidence les conditions opérationnelles susceptibles de contribuer aux émissions d'oxyde nitreux, ainsi que les possibilités associées de réduire ces émissions grâce à l'optimisation des processus. Il s'agit par exemple, d'empêcher l'entrée d'oxygène dans la zone préanoxique et d'améliorer le contrôle de l'aération afin de réduire les erreurs de contrôle.



Contrôleur adapté à l'hiver pour capteurs de N₂O.





Contexte

La région de Durham (la Région), qui dessert environ 800 000 habitants, est depuis longtemps reconnue comme un chef de file dans la prestation de services d'approvisionnement en eau potable et d'épuration des eaux usées sécuritaires, fiables et à faibles émissions de carbone. L'oxyde nitreux est un important gaz à effet de serre généré lors de certains processus de traitement des eaux usées. Bien que des recherches approfondies aient été menées sur ses causes, des questions subsistent quant à la meilleure façon d'atténuer ces émissions.

En 2023, la Région a commencé à surveiller les émissions d'oxyde nitreux provenant de l'usine d'épuration des eaux de Duffin Creek (Water Pollution Control Plant – WPCP), avec le soutien de la société Jacobs Consultancy Canada Inc. L'objectif était de comprendre la variabilité spatiale, temporelle et liée aux processus des émissions, en particulier en ce qui concerne le contrôle de l'aération et d'autres paramètres opérationnels pertinents.

Défis

La mesure et la surveillance de l'oxyde nitreux dans les processus d'épuration des eaux usées posent deux défis principaux :

1. La variabilité résultant de la dynamique des eaux usées entrantes et des conditions opérationnelles, des interactions entre la phase liquide et les gaz, et d'autres facteurs.
2. Le volume de données, qui nécessite des outils avancés de gestion et d'analyse des données, ainsi qu'une interprétation en temps réel pour éclairer les décisions opérationnelles.

À l'échelle mondiale, des efforts importants sont déployés pour comprendre la variabilité des émissions d'oxyde nitreux provenant des procédés avancés de traitement des eaux usées. Afin d'approfondir leurs connaissances dans ce domaine, la Région et la société Jacobs ont prévu de mener deux études simultanées :

1. Amélioration de la surveillance et de la modélisation de l'oxyde nitreux à l'usine d'épuration des eaux usées de Duffin Creek (WPCP) : plus de quinze mois de surveillance continue dans le bassin d'aération 9 (complétée) et huit mois dans le bassin d'aération 13 (en cours).
2. Validation des économies d'électricité réalisées grâce au contrôle de l'aération basé sur l'ammoniaque (CABA) et optimisation des stratégies de contrôle de l'air (en cours).

Les deux études sont complémentaires : les changements liés au CABA seront examinés afin d'évaluer leurs effets sur les émissions d'oxyde nitreux, dans le but d'identifier des stratégies d'optimisation visant à améliorer l'efficacité énergétique de l'aération tout en minimisant les émissions d'oxyde nitreux issues du processus.

L'un des principaux défis consistait à gérer et à analyser les grandes quantités de données générées afin de développer des connaissances en matière d'atténuation et d'éclairer les opérations. La société Jacobs a relevé ce défi en créant un modèle prédictif hybride pour l'oxyde nitreux, intégrant les données sur place, l'expertise en matière de processus et des algorithmes prédictifs de pointe afin d'estimer les concentrations d'oxyde nitreux en phase liquide sur la base des données opérationnelles. Des outils de diagnostic ont été utilisés pour analyser les résultats et répondre aux questions suivantes :

- Qu'est-ce qui a causé des pics spécifiques d'oxyde nitreux et quelles variables y étaient associées?
- Quels ajustements opérationnels pourraient réduire ou prévenir ces pics?
- Existe-t-il un modèle décrivant la corrélation entre les variables mesurées pouvant expliquer le comportement de l'oxyde nitreux?

Approche

La société Jacobs a développé une approche qui intègre des modèles basés sur les données et les connaissances relatives aux processus de traitement. Cette approche permet de

prédire les concentrations d'oxyde nitreux en phase liquide et d'analyser les résultats à l'aide d'outils de diagnostic.

Après quelques essais et erreurs au cours des premières semaines de mesures sur le terrain, ils ont identifié les emplacements appropriés pour l'installation des capteurs d'oxyde nitreux en phase liquide (Unisense/Aquafy). Ils ont été installés dans le bassin d'aération n° 9, comme le montre la figure 1.

Impact

Les émissions d'oxyde nitreux à l'usine variaient à la fois dans l'espace et dans le temps. Elles étaient influencées par les opérations de l'usine, les contrôles de l'oxygène dissous et des facteurs externes, tels que la température. La figure 2 présente les émissions estimées de N₂O par cellule dans le bassin d'aération n° 9 entre janvier 2024 et mars 2025.

Le modèle prédictif hybride, qui combine la surveillance sur le terrain et l'analyse avancée des données, a permis de suivre avec succès le profil d'oxyde nitreux observé à la station d'épuration de Duffin Creek (figure 3). Cela démontre le potentiel du modèle pour aider les services publics à prédire les émissions d'oxyde nitreux et les facteurs qui y contribuent. Ce modèle hybride utilise des outils de diagnostic pour identifier les paramètres opérationnels qui influencent le plus les niveaux d'oxyde nitreux. En combinant ces informations avec la connaissance des processus, il transforme des données complexes en stratégies concrètes pour réduire les émissions d'oxyde nitreux.

Comme le montre la figure 4, les facteurs

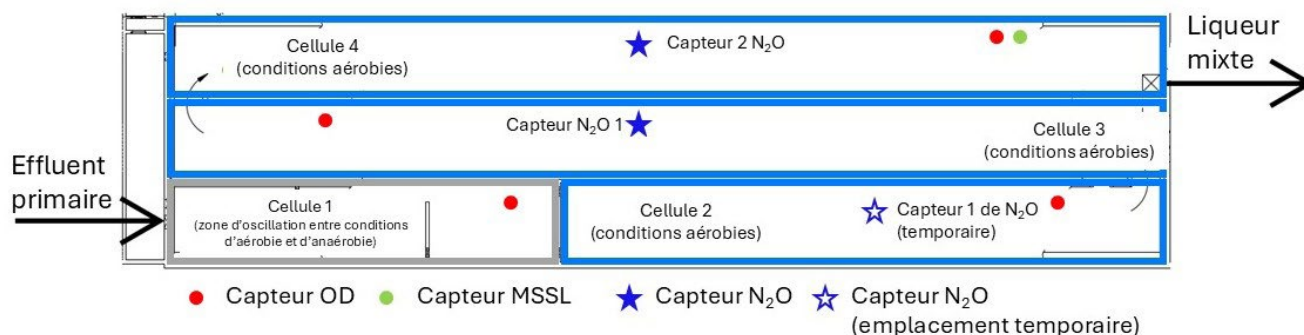


Figure 1. Emplacement des capteurs d'oxyde nitreux en phase liquide dans le réservoir d'aération 9.

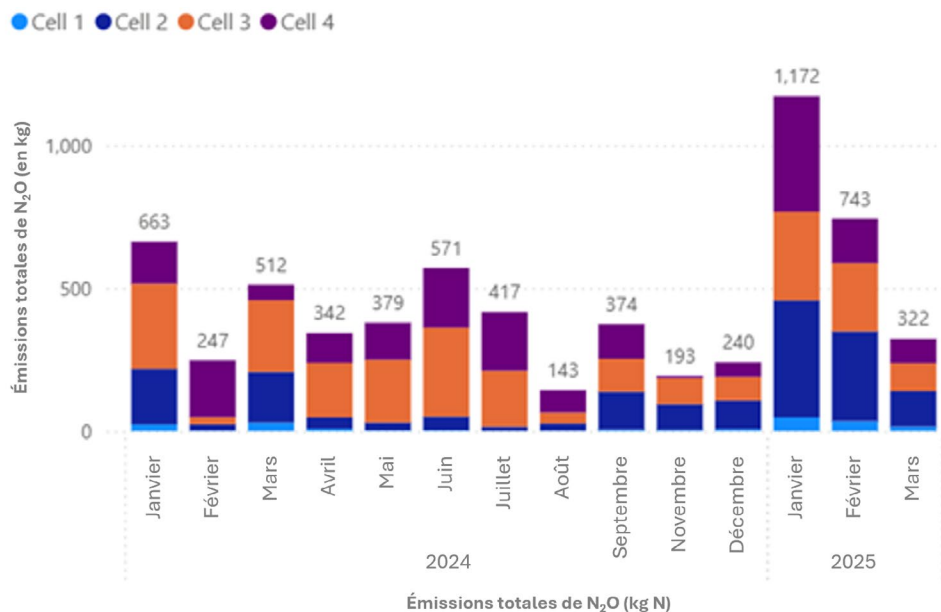


Figure 2. Estimation des émissions totales d'oxyde nitreux pour le bassin d'aération 9 (à l'exclusion d'octobre 2024 en raison de données incomplètes).

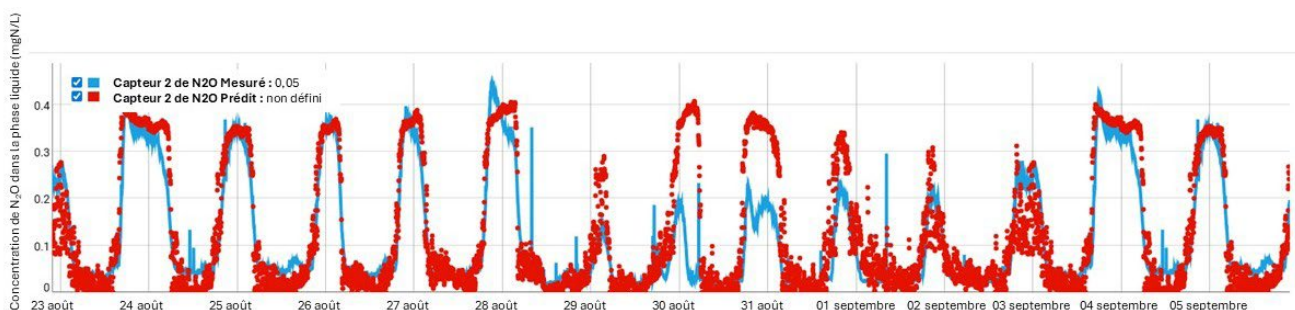


Figure 3. Modèle prédictif de N₂O à la SEEU de Duffin Creek.

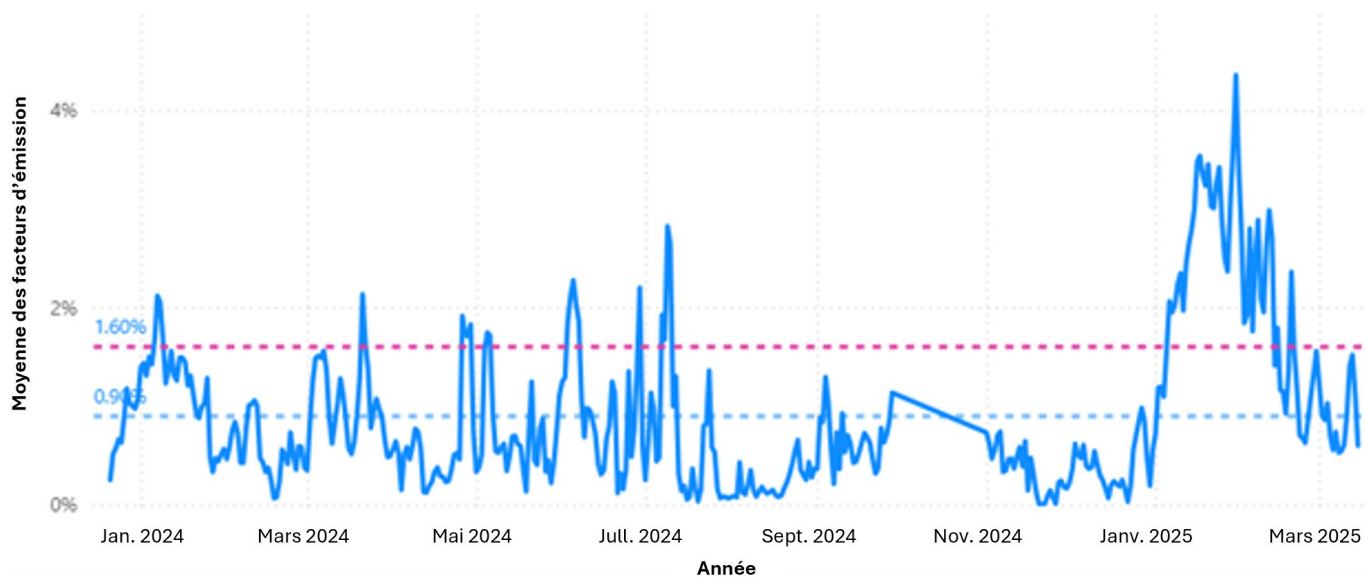


Figure 4. Facteurs d'émissions totales d'oxyde nitreux pour le bassin d'aération 9.

d'émission (FE) spécifiques d'oxyde nitreux pour le bassin d'aération 9 ont été calculés, avec une moyenne de 0,90 %.

La surveillance continue de l'oxyde nitreux en phase liquide se poursuit, les capteurs ayant été déplacés vers le bassin d'aération 13 en juillet 2025. Ce bassin reproduit la configuration du bassin d'aération 9. Les recherches menées par la Région et la société Jacobs contribuent au [projet 5251 de la Water Research Foundation](#), avec des efforts continus pour étendre le modèle prédictif hors ligne afin d'améliorer les capacités de prévision et mettre en place un outil d'atténuation en ligne pour informer le personnel opérationnel.

La société Jacobs continuera à soutenir la Région dans la collecte et l'analyse de données afin de mieux comprendre les émissions d'oxyde nitreux. Des améliorations au système de contrôle de l'aération seront mises en œuvre au printemps 2026, parallèlement au projet CABA, ce qui permettra d'optimiser l'efficacité énergétique de l'aération tout en minimisant les émissions d'oxyde nitreux liées au processus. Les autres travaux prévus à Duffin Creek comprennent :

- L'installation de capteurs d'oxyde nitreux supplémentaires permettra de mieux caractériser les émissions d'oxyde nitreux le long des bassins d'aération par écoulement piston, et d'améliorer la quantification au niveau des bassins.
- L'ajout de la surveillance de l'oxyde nitreux aux bassins d'aération des étapes 1 et 2, qui ont des configurations différentes, permettra de déterminer les facteurs d'émission spécifiques pour cette partie du traitement secondaire et, à terme, de déterminer un facteur d'émission global pour l'ensemble de l'usine d'épuration de Duffin Creek.

Cette approche hybride a été appliquée avec succès aux données de surveillance à long terme de l'oxyde nitreux à la station d'épuration de Duffin Creek ainsi qu'à d'autres stations dans le sud de l'Ontario, notamment la station d'épuration des eaux usées d'Elmira dans la région de Waterloo (Shen et coll., 2025). Ce travail a reçu le prix 2024 Intelligent

Water Solutions de la Water Environment Association of Ontario.

Leçons retenues

Au cours des 15 mois de surveillance, les émissions d'oxyde nitreux ont varié considérablement dans le temps et selon les emplacements en raison de facteurs opérationnels, tels que le contrôle de l'oxygène dissous, les pics de charge en ammoniac et les conditions externes, comme la température. Les facteurs d'émission spécifiques pour le bassin d'aération 9 représentaient en moyenne 0,90 % de la charge totale en azote de l'effluent.

Le modèle prédictif hybride a reproduit avec précision les profils d'oxyde nitreux observés et identifié les paramètres opérationnels clés, démontrant ainsi son potentiel pour aider les services publics à prévoir les émissions et à élaborer des stratégies d'atténuation. La surveillance continue, l'optimisation des capteurs et la collecte élargie de données permettront d'améliorer encore les profils des émissions et de soutenir les efforts futurs visant à mettre en œuvre des systèmes avancés de contrôle de l'aération, à améliorer l'efficacité énergétique et à minimiser les émissions d'oxyde nitreux dans l'ensemble de l'usine.

Remerciements pour le financement

Cette étude de cas fait partie du projet Carboneutralité d'eau du Réseau canadien de l'eau, financé en partie par le gouvernement du Canada par l'entremise de son [Fonds de préparation à la mise en œuvre](#) d'une économie à faibles émissions de carbone.



475, voie Wes Graham, Waterloo (Ontario)
info@cwn-rce.ca