



UNE DÉMARCHE POUR ÉVALUER LES
IMPACTS DES EAUX USÉES MUNICIPALES SUR LES SYSTÈMES AQUATIQUES

Karen Kidd (Université McMaster), Mark Servos (Université de Waterloo), Markus Hecker (Université de la Saskatchewan) et François Gagné (Environnement et Changement climatique Canada)

Recherche réalisée de 2013 à 2015



Réseau
canadien
de l'eau

UNE DÉMARCHE POUR ÉVALUER LES IMPACTS DES EAUX USÉES MUNICIPALES SUR LES SYSTÈMES AQUATIQUES

Karen Kidd (Université McMaster), Mark Servos (Université de Waterloo), Markus Hecker (Université de la Saskatchewan) et François Gagné (Environnement et Changement climatique Canada)

Recherche réalisée de 2013 à 2015

POURQUOI AVONS-NOUS RÉALISÉ CETTE RECHERCHE?

Les eaux usées municipales contiennent divers mélanges de substances chimiques, incluant des hormones, des produits pharmaceutiques, des produits ménagers et des additifs contenus dans des produits de soins personnels. Certains de ces contaminants ne sont pas éliminés par les traitements traditionnels des eaux usées, ou ils ne le sont que partiellement, et ils sont donc relâchés de façon continue dans les plans d'eau récepteurs. Ces substances chimiques suscitent des inquiétudes et des incertitudes quant aux risques qu'elles posent, individuellement ou sous forme de mélange, pour les écosystèmes aquatiques. En fait, il y a de plus en plus de preuves que certains groupes de ces produits chimiques dans les eaux usées affectent l'état physique ou la santé des poissons et d'autres formes de vie aquatique.

Des hormones, d'autres substances chimiques qui imitent les hormones et des composés qui peuvent affecter la production ou l'élimination des hormones, se retrouvent dans ces effluents, sont absorbés par les poissons et autres formes de vie aquatique, et peuvent interférer avec leur système endocrinien. Le système endocrinien contrôle des processus biologiques importants comme le développement initial, la croissance, le développement sexuel et la reproduction. Par exemple, les œstrogènes naturels et synthétiques, fréquemment détectés dans les eaux usées municipales, ont été associés à la féminisation des poissons mâles vivant en aval des décharges d'eaux usées (Routledge *et al.*, 1998). De nombreux autres produits chimiques perturbateurs endocriniens peuvent aussi demeurer dans les effluents d'eaux usées et, quel que soit le lieu de rejet concerné, l'ampleur de leurs impacts sur les organismes en aval va varier en fonction des constituants chimiques, du type de traitement utilisé et des caractéristiques du plan d'eau récepteur.

Les municipalités du Canada entier mettront à niveau leurs stations d'épuration des eaux usées (SEEU) pour se conformer au *Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées* entré en vigueur en 2015. Ces mises à niveau permettront d'éliminer davantage de contaminants. De fait, on anticipe que ces mises à niveau auront certains effets positifs sur les impacts endocriniens sur les poissons et autres formes de vie aquatique en aval (Réseau canadien de l'eau, 2018). Par exemple, une recherche récente réalisée dans le bassin versant de la rivière Grand en Ontario a montré que lorsque la teneur en œstrogènes des effluents d'eaux usées diminue en raison des mises à niveau, la présence de poissons mâles féminisés diminue en aval (Hicks *et al.*, 2017). Toutefois, des incertitudes subsistent concernant la capacité globale des technologies traditionnelles et modernes de traitement des eaux usées d'éliminer les produits chimiques perturbateurs endocriniens dans les eaux d'égout brutes. Pour être en mesure de prioriser les actions permettant d'identifier les plus grands éléments préoccupants et d'y répondre subséquemment, il faut pouvoir évaluer avec efficacité les effluents d'eaux usées et les milieux récepteurs pour déterminer où se produisent les impacts évidents.

COMMENT AVONS-NOUS ABORDÉ CET ENJEU?

En février 2013, le Réseau canadien de l'eau (RCE) a organisé un atelier avec des experts internationaux en vue de dresser et de prioriser une liste d'éléments qui seraient efficaces pour évaluer les effets sur les systèmes endocriniens des poissons qui résultent directement de l'exposition aux contaminants dans les eaux usées municipales. Cet atelier a été réalisé en partenariat avec la Water Environment Research Foundation (WERF) dans le cadre d'une recherche en collaboration visant à évaluer la capacité d'outils existants à déterminer les incidences qu'ont les contaminants présents dans les eaux usées sur les écosystèmes aquatiques, au Canada et aux États-Unis (WERF, 2010; Water Environment & Reuse Foundation, 2017).

Les éléments retenus pour la trousse d'outils incluaient : des tests sur des poissons sauvages pour évaluer l'exposition aux effluents et leurs impacts; des mesures sur des poissons et des lignées cellulaires exposés aux effluents en laboratoire pour déterminer comment sont affectées les fonctions reproductives et endocriniennes; des mesures des produits chimiques perturbateurs endocriniens dans les effluents d'eaux usées (Tableau 1). Certains des éléments de la trousse d'outils constituent des indicateurs généraux de la santé des poissons, tandis que d'autres ont été choisis parce qu'ils sont plus spécifiques aux impacts endocriniens préoccupants.

En utilisant les impacts sur le système endocrinien et la fonction reproductrice comme indicateurs clés, l'objectif principal de cette étude était d'évaluer si cette trousse d'outils permettait d'indiquer clairement un dérèglement biologique chez les poissons dû à une exposition aux rejets d'eaux usées. L'étude a également été conçue pour fournir un cadre pratique pour distinguer les sites où les impacts sont les plus préoccupants dans le but de prioriser les prochaines mesures à prendre.

Tableau 1 : Éléments retenus pour la trousse d'outils.

TESTS EFFECTUÉS SUR DU POISSON SAUVAGE POUR DÉTERMINER LES IMPACTS

- L'expression génique (une mesure des réactions moléculaires à l'exposition qui fournit des indices quant aux mécanismes précis par lesquels les composés chimiques peuvent affecter un organisme)
- L'induction de la vitellogénine (une mesure de la protéine du jaune d'œuf produite par le poisson mâle, laquelle est un marqueur sensible de l'exposition aux œstrogènes)
- L'état et la taille des organes (indice de la taille relative du foie, indice de la taille relative des gonades) – fournissent de l'information sur l'état de santé général d'un organisme
- Des mesures de la santé reproductive (p. ex., l'histologie des gonades, la présence d'intersexualité [lorsque les gonades contiennent des tissus mâles et femelles], les caractéristiques sexuelles secondaires, le ratio des sexes, les taux d'hormones stéroïdes sexuelles)
- Les concentrations relatives d'isotopes stables du carbone (C) et de l'azote (N) pour évaluer l'exposition aux effluents

TESTS DE LABORATOIRE POUR IDENTIFIER LES COMPOSÉS ENDOCRINIENS ACTIFS PRÉSENTS DANS LES EAUX USÉES ET LEURS IMPACTS SUR DES POISSONS OU DES LIGNÉES CELLULAIRES

- Essais biologiques à court terme sur le poisson (exposition aux effluents en laboratoire)
 - Évaluation des effets décrits précédemment pour les études sur les poissons sauvages
 - Caractérisation de la fécondité (c.-à-d. le nombre d'œufs produits par les femelles)
- Lignées cellulaires in vitro
 - Identification des composés dans les influents d'eaux usées (c.-à-d. les eaux usées brutes) et dans les effluents traités, ayant les propriétés suivantes :
 - Œstrogénicité
 - Anti-œstrogénicité
 - Androgénicité
 - Anti-androgénicité
 - Perturbation de la production d'œstrogène (stéroïdogénèse)
- Analyse chimique de l'effluent



QU'AVONS-NOUS FAIT?

La recherche a été réalisée de 2013 à 2015 par trois équipes de l'Université de Waterloo, de l'Université de la Saskatchewan et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS). Chaque équipe a choisi un lieu d'étude dans un bassin versant local (rivière Grand en Ontario; ruisseau Wascana et rivière Saskatchewan en Saskatchewan; fleuve Saint-Laurent au Québec). Dans chaque endroit, les équipes ont choisi un site de référence en amont des décharges d'eaux usées municipales, et un ou plusieurs sites en aval, caractérisés comme étant plus ou moins préoccupants quant aux impacts anticipés des effluents d'eaux usées municipales sur le système endocrinien. Le choix des sites à chaque endroit s'est fait d'après les critères d'évaluation des risques décrits par la WERF en 2010. Ces critères incluent les caractéristiques des influents et des traitements des SEEU et les caractéristiques des plans d'eaux récepteurs (Tableau 2).

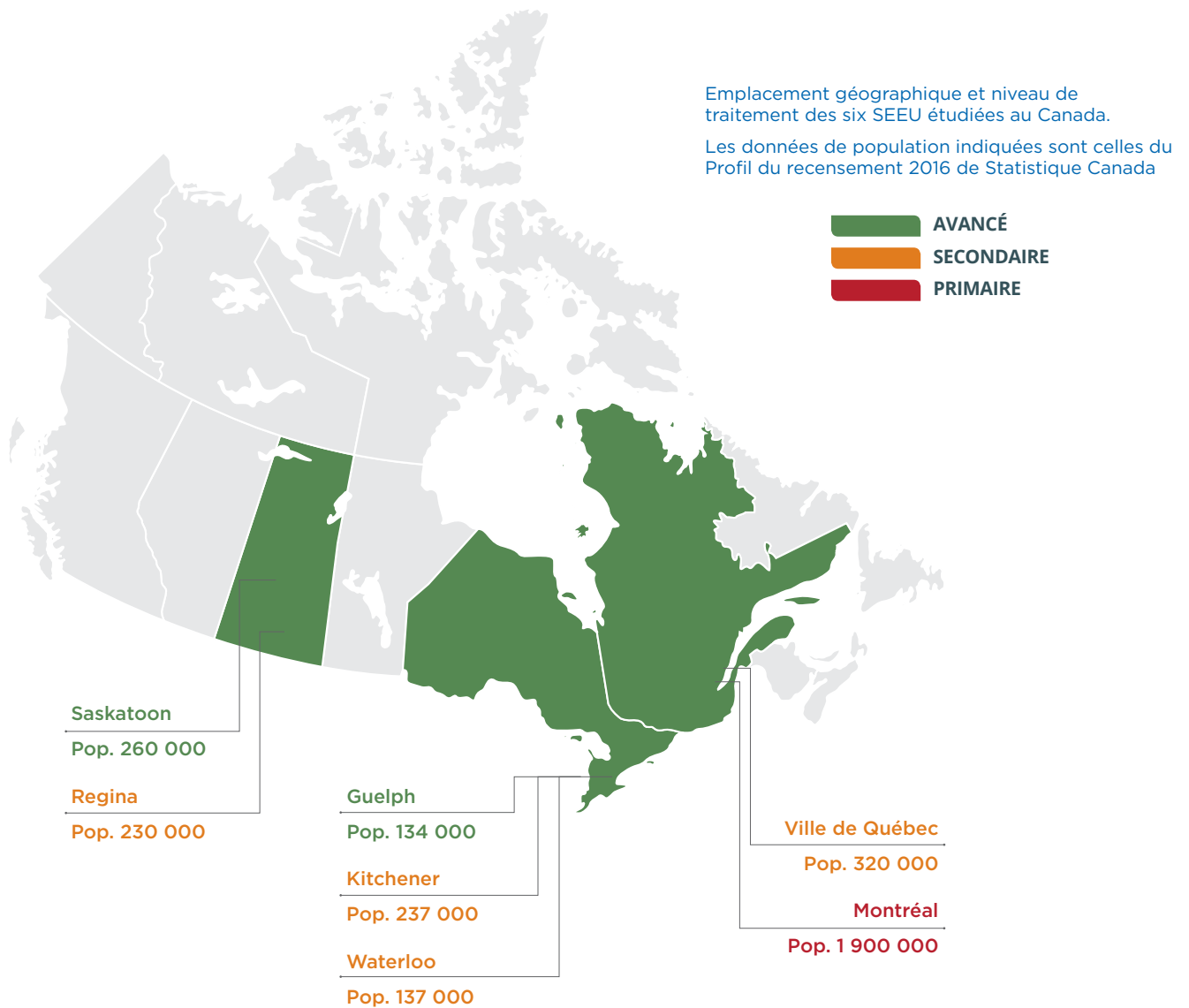


Tableau 2 : Caractéristiques des sites d'étude, incluant la description du degré de préoccupation* des impacts de l'effluent d'eaux usées.

	RIVIÈRE GRAND			RUISSEAU WASCANA ET RIVIÈRE SASKATCHEWAN		FLEUVE SAINT-LAURENT	
	Waterloo	Kitchener	Guelph	Regina	Saskatoon	Montréal	Québec
Degré de préoccupation* (d'après les critères 2010 de la WERF)	Élevé	Intermédiaire (en rétablissement)	Faible	Élevé	Faible	Élevé	Faible
Bassin versant en amont	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Fortement urbain	Banlieue
Espèces de poissons sauvages échantillonnées	Dard	Dard	Dard	Mené tête de boule	Mené tête de boule	Perchaude	Perchaude
Population servie par la SEEU	~ 137 000	~ 237 000	~ 134 000	~ 230 000	~ 260 000	~ 1,9 million	~ 320 000
Niveau de traitement à la SEEU (au moment de l'étude)	Secondaire, boues activées	Secondaire, boues activées	Avancé, boues activées	Secondaire, étang d'épuration	Avancé, boues activées	Avancé, primaire	Secondaire, Biofiltration
Dilution des effluents au site de rejet†	Faible	Faible	Faible	Très faible	Élevée	Très élevée	Élevée
Obstacles à la migration des poissons	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non

†Très faible < 10 %, faible < 20 %, élevé > 90 %, très élevée > 99 %

À chaque emplacement, les équipes ont utilisé les éléments de la trousse d'outils mentionnés au tableau 1 et les ont adaptés selon le site et l'expertise des chercheurs. Dans l'ensemble, toutes les études comprenaient la collecte de poissons sauvages et des essais biologiques en laboratoire avec poisson entier et lignées cellulaires exposés aux effluents. Les méthodes sont décrites ci-après :

ESSAIS SUR DES POISSONS SAUVAGES

À chaque emplacement, les chercheurs ont recueilli des poissons d'une espèce locale dans un site de référence en amont du lieu de rejet des eaux usées et dans un site d'étude en aval d'une ou de plusieurs SEEU. Ils ont pesé, mesuré et disséqué ces poissons pour déterminer le sexe et les poids relatifs du foie et des gonades. Ils ont prélevé des tissus pour diverses autres mesures histologiques et biochimiques. Ils ont utilisé une série de marqueurs moléculaires (expression génique) en lien avec des réactions physiologiques comme la production d'hormone et l'occurrence d'anomalies histologiques comme l'intersexualité, le retard de maturation, la dégénérescence tissulaire, etc., définies pour l'espèce de poisson. Ils ont également évalué les changements dans les ratios d'isotopes stables du carbone et de l'azote chez les poissons, ce qui donne une indication de l'exposition aux composés dans les effluents par le biais de leur alimentation.



TESTS EN LABORATOIRE POUR IDENTIFIER LES COMPOSÉS ENDOCRINIENS ACTIFS DANS LES EAUX USÉES ET LEURS IMPACTS POTENTIELS SUR LE POISSON

Dans le cadre d'études contrôlées en laboratoire, les chercheurs ont soumis aux effluents des SEEU des poissons d'une espèce couramment utilisée en laboratoire. Ils ont examiné les effets des effluents sur différentes voies hormonales dans le cadre d'essais biologiques sur des cellules in vitro. De plus, ils ont procédé à des analyses pour cerner les différences dans la composition chimique des effluents. En résumé, les essais biologiques sur des poissons entiers ont servi à déterminer, pour certains effluents, les changements possibles dans la production d'œufs, les altérations histologiques des gonades, la production hormonale et l'expression des gènes. De plus, les chercheurs ont testé les influents et les effluents de toutes les SEEU pour déterminer la présence de composés endocriniens actifs (comme certains produits pharmaceutiques et de soins personnels et pesticides), pour évaluer les degrés d'efficacité d'élimination de ces produits chimiques grâce aux procédés actuels de traitement des eaux usées, et pour déterminer avec plus de précision quels sont les constituants des eaux usées qui affectent possiblement la santé reproductive des poissons. De façon plus précise, les essais cellulaires in vitro ont servi à identifier les composés ayant des propriétés anti-œstrogènes, anti-androgènes et perturbatrices de la production d'œstrogènes (stéroïdogénèse). Les chercheurs ont utilisé la spectrométrie de masse à haute résolution pour caractériser la présence de ces produits chimiques dans les influents d'eaux usées (eaux brutes) et dans les effluents traités.

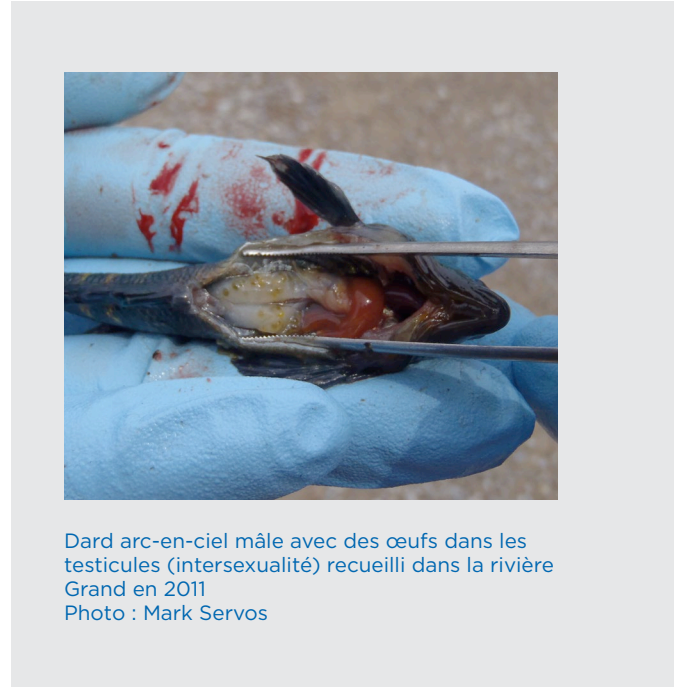
Dans l'ensemble, voici comment les chercheurs ont comparé les résultats de ces analyses : 1) comparaison entre sites de référence (sites non affectés en amont) et sites en aval; 2) comparaisons entre sites plus préoccupants et moins préoccupants dans le même bassin versant; 3) comparaisons entre les régions pour comprendre dans l'ensemble quels éléments de la trousse d'outils sont utiles pour distinguer les sites les plus préoccupants des moins préoccupants.

QU'AVONS-NOUS CONSTATÉ?

RIVIÈRE GRAND (ONTARIO) (PROJET DIRIGÉ PAR MARK SERVOS, UNIVERSITÉ DE WATERLOO)

À l'automne 2013, les chercheurs, à l'aide d'outils électriques de pêche portés sur le dos, ont procédé à la collecte de spécimens de dard arc-en-ciel (*Etheostoma caeruleum*) et de dard vert (*E. blennioides*) aux sites de référence en amont des décharges d'eaux usées urbaines et aux sites d'étude en aval des SEEU de Waterloo (degré de préoccupation élevé), de Kitchener (degré de préoccupation qualifié d'intermédiaire étant donné les améliorations effectuées en 2012) et de Guelph (degré de préoccupation faible).

Les chercheurs ont décelé des effets chez les poissons recueillis en aval des décharges d'effluents, surtout des décharges des SEEU où les niveaux de traitement sont plus basiques (Tableau 3). Comparativement aux poissons en amont, ils ont constaté chez ces spécimens des incidences sur la production de stéroïdes, l'intersexualité, la diminution ou l'augmentation de l'expression génique (vitellogénine, marqueurs de gènes) et la composition en isotopes stables. En laboratoire, ils ont exposé aux effluents des poissons d'une espèce modèle (le poisson-zèbre, *Danio rerio*). Ils ont constaté une diminution de la ponte d'œufs et une expression génique altérée chez les individus exposés aux effluents de la SEEU de Waterloo, mais des effets moindres chez les individus exposés aux effluents de la SEEU de Kitchener (Tableaux 3 et 6). Les essais biologiques sur des lignées cellulaires ont aussi indiqué que certains composés chimiques dans les effluents de la SEEU de Waterloo agissent comme des substances androgènes, anti-androgènes et anti-œstrogènes, et que certains produits chimiques dans les effluents de la SEEU de Guelph agissent comme des substances anti-œstrogènes (Tableau 6). À cet endroit, les autres éléments de mesure de la trousse d'outils ne se sont pas révélés utiles pour caractériser les incidences de l'exposition aux contaminants dans les effluents d'eaux usées.



Dard arc-en-ciel mâle avec des œufs dans les testicules (intersexualité) recueilli dans la rivière Grand en 2011
Photo : Mark Servos

Tableau 3 : Capacité des éléments de la trousse d'outils à distinguer les effets chez les poissons dans des sites plus ou moins préoccupants de la rivière Grand en Ontario (2013).

« Oui ou Non » indique s'il y a une différence significative entre le site de référence en amont et le site d'étude en aval de la décharge d'effluents d'une SEEU. Une flèche ascendante indique une valeur supérieure au site en aval comparée au site de référence. Une flèche descendante indique une valeur inférieure au site en aval comparée au site de référence. Un tiret indique l'absence de données il convient de noter que depuis 2013 on a constaté des améliorations considérables des indicateurs clés suite aux mises à niveau des SEEU dans le secteur de la rivière Grand (Hicks *et al.*, 2017).

ÉLÉMENT DE LA TROUSSE D'OUTILS	Waterloo (site très préoccupant)	Kitchener (site en rétablissement; moyennement préoccupant)	Guelph (site peu préoccupant)
État de santé (ampleur de l'effet de 10 %) ¹			
Mâles	Non	Non	Non
Femelles	Non	Non	Non
Taille relative du foie (ampleur de l'effet de 25 %) ¹			
Mâles	Non	Non	Non
Femelles	Non	Oui ↓	Non
Taille relative des gonades (ampleur de l'effet de 25 %) ¹			
Mâles	Non	Non	Non
Femelles	Non	Non	Non
Caractéristiques sexuelles secondaires ¹			
Mâles	Non	Non	-
Rapport des sexes (F:M) ¹			
	Non	Non	-
Stéroïdes en circulation ²			
Mâles – 11-KT	Non	Oui ↓	
Femelles – E2	Non	-	
Stéroïdes dans les tissus/in vitro ¹			
Mâles – 11-KT	Oui ↓	Non	Non
Mâles – T	Oui ↓	Oui ↓	Non
Femelles – E2	Non	Oui ↑	Non
Incidence d'intersexualité ¹			
Mâles	Oui ↑	Oui ↑	Non
Isotopes stables ¹			
Azote	Oui ↑	Non	Non
Carbone	Oui ↑	Non	Non
Expression génique de la vitellogénine dans le foie ²			
Mâles	Oui ↑		
Données des marqueurs de gènes ²			
	Oui ↑ ↓	Oui ↑ ↓	-
Essai biologique en laboratoire sur la reproduction du poisson-zèbre			
	Oui ↓	Non	Non

Dard arc-en-ciel¹ ou dard vert²

RUISSEAU WASCANA ET RIVIÈRE SASKATCHEWAN EN SASKATCHEWAN (PROJET DIRIGÉ PAR MARKUS HECKER, UNIVERSITÉ DE LA SASKATCHEWAN)

Au cours des étés 2014 et 2015, les chercheurs ont recueilli dans le ruisseau Wascana des spécimens de mené tête-de-boule aux sites de référence en amont et aux sites d'étude en aval de la SEEU de Regina. Ce ruisseau était considéré comme grandement préoccupant au moment de l'échantillonnage, car la SEEU utilisait alors un système dépassé de lagunes et les effluents rejetés dans le plan d'eau récepteur n'étaient que très faiblement dilués. Des mises à niveau ont été effectuées en 2016 et 2017 et le niveau de traitement est maintenant de secondaire avancé.

Il y a eu plusieurs tentatives de collecte de poissons sauvages dans la rivière Saskatchewan (près de Saskatoon), laquelle est considérée comme peu préoccupante étant donné le système de traitement avancé de la SEEU et la forte dilution des effluents rejetés dans le plan d'eau récepteur. Ces tentatives ont été vaines étant donné les niveaux d'eau exceptionnellement élevés de la rivière pendant les années de l'étude.

Chez les poissons sauvages du ruisseau Wascana, les chercheurs ont constaté une augmentation de la taille du foie, une diminution de la taille des gonades et des différences dans les isotopes stables d'azote et de carbone dans les individus exposés aux effluents d'eaux usées (Tableau 4). Les études en laboratoire avec des effluents des deux SEEU ont démontré que la production d'œufs était plus faible chez les menés têtes-de-boule exposés aux effluents de la SEEU de Regina, mais pas ceux de la SEEU de Saskatoon, et qu'il y avait perturbation de la maturation des gonades et de l'état de santé général des poissons exposés aux effluents de ces deux SEEU (Tableaux 4 et 6). En général, les effets étaient plus importants et plus graves chez les poissons exposés aux effluents de la SEEU de Regina, et les impacts se sont produits à des dilutions aussi faibles que 10 % d'effluents. Le ruisseau Wascana peut atteindre une concentration d'effluents de l'ordre de 99 % pendant la saison sèche. Les analyses in vitro avec des lignées cellulaires ont indiqué que les effluents de la SEEU de Regina contenaient plus de contaminants qui agissaient comme des œstrogènes, bien que les effets aient été jugés faibles. Par ailleurs, toutes les stations d'épuration de la Saskatchewan, de l'Ontario et du Québec, à l'exception de celle de Montréal, étaient en mesure d'éliminer avec une très grande efficacité les produits chimiques ayant des propriétés androgènes. En général, les faibles effets œstrogènes et androgènes ont été compensés par des composés qui bloquaient l'action des œstrogènes et des androgènes (Tableau 6).

Tableau 4 : Capacité des éléments de la trousse d'outils à distinguer les effets chez les menés têtes-de-boule dans des sites plus ou moins préoccupants du ruisseau Wascana et de la rivière Saskatchewan, en Saskatchewan.

« Oui ou Non » indique s'il y a une différence significative entre le site de référence en amont et le site d'étude en aval de la décharge d'effluents d'une SEEU. Une flèche ascendante indique une valeur supérieure au site en aval comparée au site de référence. Une flèche descendante indique une valeur inférieure au site en aval comparée au site de référence. Les tirets indiquent une absence de données.

PARAMÈTRE	Regina (site très préoccupant)	Saskatoon (site peu préoccupant) ^a
État de santé (ampleur de l'effet de 10 %)		
Mâles	Non	Non
Femelles	Non	Non
Taille relative du foie (ampleur de l'effet 25 %)		
Mâles	Oui ↑	Non
Femelles	Oui ↑	Oui ↑
Taille relative des gonades (ampleur de l'effet 25 %)		
Mâles	Oui ↓	Non
Femelles	Oui ↓	Non
Fécondité (femelles) ^a		
Inhibition de la maturation	Oui	Non
Histologie (mâles)		
Inhibition de la maturation	Oui	Oui*
Stéroïdes en circulation		
Mâles – 11-KT	Non	Non
Femelles – E2	Non	Non
Expression génique de la vitellogénine		
Mâles	Non	Non
Femelles	Non	Non
Expression génique du récepteur alpha de l'œstrogène		
Mâles	Non	Non
Femelles	Oui ↑	Oui ↓
Isotopes stables		
Azote	Oui ↓	-
Carbone	Oui ↑	-

^a Études sur des poissons en laboratoire uniquement

*Les effets étaient moins graves que ceux constatés chez les poissons exposés aux effluents de la SEEU de Regina

FLEUVE SAINT-LAURENT (QUÉBEC) (PROJET DIRIGÉ PAR FRANÇOIS GAGNÉ D'ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA ET PAR MICHEL FOURNIER DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE)

À l'été et à l'automne 2014, les chercheurs ont recueilli à l'aide de sennes des spécimens de perchaude dans un site en aval de la SEEU de la Ville de Québec (site caractérisé comme étant peu préoccupant), ainsi qu'à trois sites en aval de la SEEU de Montréal (sites caractérisés comme étant plus préoccupants) (soit à 4 km, 6 km et 12 km, respectivement). Ils ont également prélevé des perchaudes dans un site commun de référence en amont des deux grandes villes. Les résultats obtenus de ces poissons sauvages indiquaient que les poissons femelles capturés en aval de l'usine de Montréal avaient des réactions immunitaires plus fortes (Tableau 5). L'état de santé des femelles était meilleur en aval de l'usine de Montréal qu'en amont dans le site de référence. Quant à l'état de santé des perchaudes mâles, il diminuait en aval de la SEEU de Québec, et la taille relative du foie était aussi plus petite chez les femelles capturées en aval de la SEEU de Québec. En laboratoire, les menés têtes-de-boule exposés aux effluents de la SEEU de Montréal indiquaient des effets plus importants d'inactivation génique de la vitellogénine (augmentation de 20 fois) et des stéroïdes (augmentation de 4 fois; CYP3A1) que chez les poissons exposés aux effluents de la SEEU de Québec (Tableau 6). Les essais biologiques sur les poissons ont démontré que l'exposition aux effluents du site moins préoccupant avait provoqué une augmentation de la production d'œufs, tandis que l'exposition aux effluents du site plus préoccupant avait provoqué une diminution de l'ordre de 10 fois la production d'œufs. Les lignées cellulaires exposées aux effluents ont indiqué la présence de produits chimiques qui agissaient comme des androgènes et des anti-œstrogènes dans les effluents de Montréal, et comme des anti-œstrogènes dans les effluents de Québec. De plus, les effluents des deux usines d'épuration contenaient de nombreux produits pharmaceutiques et d'autres composés, dont certains agissent comme des perturbateurs endocriniens ou perturbent les stéroïdes sexuels (p. ex., œstrone, progestérone, testostérone, cholestérol et bisphénol A).

Tableau 5 : Capacité des éléments de la trousse d'outils à distinguer les effets dans les perchaudes sauvages des sites plus ou moins préoccupants dans le fleuve Saint-Laurent au Québec.

« Oui ou Non » indique s'il y a une différence significative entre le site de référence en amont et le site d'étude en aval de la décharge d'effluents d'une SEEU. Une flèche ascendante indique une valeur supérieure au site en aval comparée au site de référence. Une flèche descendante indique une valeur inférieure au site en aval comparée au site de référence. Les tirets indiquent une absence de données.

PARAMÈTRE	Montréal (site très préoccupant)	Ville de Québec (site peu préoccupant)
État de santé (ampleur de l'effet 10 %)		
Mâles	Non	Oui ↓
Femelles	Oui ↑	Non
Taille relative du foie (ampleur de l'effet 25 %)		
Mâles	Non	Non
Femelles	Non	Oui ↓
Rapport des sexes (F:M)		
	Non	Non
Réactions immunitaires		
Mâles - Nombre de leucocytes dans le plasma	Non	Non
Femelles - Nombre de leucocytes dans le plasma	Oui ↑	Non
Expression génique de la vitellogénine		
Mâles	Non	-
Femelles	Non	-
Isotopes stables		
Azote	Oui ↓	Non

QU'AVONS-NOUS PU CONCLURE DE CE PROJET?

Ce projet répondait au besoin d'une approche concrète permettant de faire la distinction entre les sites plus ou moins préoccupants quant aux impacts des décharges d'effluents des SEEU sur les poissons. L'objectif était d'examiner une série d'éléments mesurés dans tous les sites, dans des poissons sauvages et dans des essais biologiques en laboratoire pour déterminer s'ils fournissaient une indication claire des effets biologiques – tout particulièrement de la perturbation de la fonction endocrinienne – causés par des contaminants présents dans les rejets d'effluents traités. Dans les trois emplacements en Ontario, Saskatchewan et au Québec, les réactions à l'exposition des effluents des poissons sauvages et des poissons en laboratoire ont été variables, illustrant les différences de composition et de traitement des eaux usées municipales et les différences entre les plans d'eaux récepteurs. De cette recherche initiale, il en ressort que certains éléments sont prometteurs pour différencier les sites moins préoccupants des sites fortement préoccupants, et pour prioriser les sites où des améliorations sont requises (Tableau 6).



Tableau 6 : Résumé de l'utilité des éléments de la trousse d'outils pour différencier les sites très préoccupants des sites moins préoccupants dans les emplacements à l'étude et entre ceux-ci dans un bassin versant.

« Oui », signifie que la réaction de cet élément a été plus forte dans les sites de forte préoccupation, comparativement aux sites peu préoccupants. Les tirets indiquent que l'élément n'a pas été évalué à cet endroit.

	ONTARIO	SASKATCHEWAN	QUÉBEC	RECOMMANDÉ?
ESSAIS SUR LES POISSONS SAUVAGES				
Expression génique	Oui	—	—	Très variable; peut être utile utilisé en conjonction avec d'autres paramètres
Stéroïdes	Oui	—	—	Très variable; non recommandé
Histologie/Intersexualité	Oui	—	—	Indicateurs importants de pathologies spécifiques; oui
État de santé, taille relative du foie/ taille relative des gonades	Non	—	Non	Indicateurs importants de la santé générale; oui
Isotopes C ou N	Oui	—	Oui	Indicateur d'une exposition aux effluents; oui
ESSAIS EN LABORATOIRE POUR DÉTERMINER LES IMPACTS SUR LES POISSONS				
Essai de reproduction ¹	Oui	Oui	Oui	Indicateur des impacts sur le succès reproducteur; oui
ESSAIS EN LABORATOIRE POUR DÉTERMINER LES IMPACTS SUR DES LIGNÉES CELLULAIRES				
Essais basés sur des récepteurs ²	Oui	Oui	Oui	Liens étroits avec les perturbateurs endocriniens et les effets sur le poisson; oui
Stéroïdogénèse	Oui	Oui	Oui	Liens étroits avec les perturbateurs endocriniens et les effets sur le poisson; oui
CHIMIE DES EFFLUENTS	OUI	OUI	OUI	OUI

¹ Des éléments mesurés, la production d'œufs était un indicateur sensible dans cet essai, mais n'était pas spécifique à la perturbation endocrinienne, comme la vitellogénine et l'expression génique du récepteur œstrogénique. On recommande donc d'ajouter d'autres paramètres spécifiques à la fonction endocrine

² Incluant l'œstrogénicité, l'anti-œstrogénicité, l'androgénicité, l'anti-androgénicité

QU'EST-CE QUE CES RÉSULTATS SIGNIFIENT POUR LES REPRÉSENTANTS DES SERVICES PUBLICS, LES CHERCHEURS ET AUTRES INTERVENANTS?

IL EST POSSIBLE D'UTILISER UNE SÉLECTION D'ÉLÉMENTS DE MESURE SUR LE TERRAIN ET EN LABORATOIRE POUR DÉTERMINER LES ENDROITS OÙ LES POISSONS SONT AFFECTÉS PAR LES CONTAMINANTS PRÉSENTS DANS LES EAUX USÉES.

Pour bien évaluer les impacts possibles des eaux usées municipales sur l'environnement, il faut une sélection avisée d'éléments de la trousse d'outils qui prennent en considération les caractéristiques spécifiques de l'effluent, du site, de la variabilité spatiale et temporelle, de même que des questions qui se posent aux gestionnaires des eaux usées. En utilisant une série d'éléments bien établis qui caractérisent l'effluent et évaluent les réactions des poissons, on peut obtenir des indications quant aux secteurs où se produisent les impacts et de l'information sur l'efficacité des procédés de traitement des eaux usées à réduire les taux de contaminants. En général, il importe d'examiner les réactions dans les poissons sauvages et en laboratoire à plusieurs niveaux d'organisation biologique (au niveau moléculaire, des tissus et l'organisme entier), car ensemble ces réactions fournissent une évaluation globale des effets des contaminants présents dans les effluents d'eaux usées.

- Les résultats de cette étude indiquent que l'échantillonnage de poisson sauvage, les essais biologiques sur lignées cellulaires et les essais sur la reproduction des poissons en laboratoire peuvent être des outils efficaces pour détecter les effets de type endocrinien des contaminants dans les effluents d'eaux usées.
- L'expression génique peut être très spécifique, fournissant de l'information quant aux mécanismes impliqués; cependant, l'expression génique varie dans le temps et on peut la confondre avec des réactions compensatoires, surtout dans des conditions de terrain. Cet outil devrait être utilisé en conjonction avec d'autres éléments.
- La production de stéroïdes sexuels et les concentrations dans le plasma sont utiles pour caractériser les impacts des effluents, mais ces éléments peuvent être très variables d'un poisson à un autre, selon l'âge ou la saison.
- Les effets des contaminants dans les eaux usées sur l'histopathologie (comme l'intersexualité et le retard de maturation) peuvent être constants et pertinents, mais ils ne sont pas toujours décelables, dépendant du site, de l'effluent et du moment de l'échantillonnage.
- Les éléments concernant l'organisme entier, comme la taille d'organe, l'histopathologie et l'état de santé général, intègrent les réactions à une variété d'éléments stressants, et il est donc beaucoup plus difficile de les relier à des expositions à des contaminants précis. Toutefois, ils fournissent de l'information plus pertinente sur le plan écologique, ils reflètent des changements importants qui sont plus étroitement liés aux réactions de l'écosystème que les effets à l'échelle moléculaire (comme l'expression génique), et ce sont des paramètres évalués plus couramment dans le cadre de programmes de surveillance biologique. De ce fait, ils constituent des éléments importants de la trousse d'outils.
- Les éléments pour déterminer l'exposition, comme la chimie et les isotopes stables, sont aussi très utiles.
- Les essais biologiques sur les poissons et les lignées cellulaires en laboratoire sont bien développés et utiles. Ils fournissent de l'information complémentaire à caractère prédictif sur les altérations biologiques observées chez les poissons sauvages. Les essais biologiques sont utiles pour identifier les SEEU en vue d'études ultérieures, et pour différencier les effets des effluents municipaux des effets associés à d'autres eaux usées qui se déchargent dans un même milieu récepteur.



ÉTANT DONNÉ LA DIVERSITÉ DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DES MILIEUX AQUATIQUES, LE CONTENU DE LA TROUSSE D'OUTILS DEVAIT ÊTRE CONÇU SUR MESURE.

En perfectionnant cette démarche, on pourra mieux cibler les secteurs où des impacts se produisent pour appuyer une intervention corrective appropriée (RCE, 2018). Il faudrait également chercher à mieux comprendre les éléments les plus utiles pour un programme de surveillance efficace, et comment choisir les meilleurs éléments pour un site donné, plutôt que de recourir à des listes prescriptives d'essais et de critères.

La conception de toute future étude doit tenir compte des caractéristiques du milieu récepteur et des espèces de poisson qui y sont présentes pour s'assurer que l'échantillonnage est effectué à un moment qui permettra de maximiser l'interprétation des résultats. Certains éléments, comme les mesures d'hormones, exigent certaines connaissances de fond pour interpréter les résultats par rapport aux cycles hormonaux naturels qui existent chez les poissons. Il pourra être nécessaire d'avoir recours à de nombreux sites de référence et de rétablissement pour bien comprendre les impacts et être en mesure de les distinguer de la variation naturelle. Les expositions aux effluents, tout comme les conditions du milieu aquatique récepteur, peuvent varier énormément au cours d'une année ou d'une saison, et idéalement il faudrait de nombreuses années d'échantillonnage pour évaluer les impacts de façon adéquate.

Pour joindre le chercheur : researchspotlight@cwn-rce.ca.
Consultez notre répertoire des projets à cwn-rce.ca

RAPPORT RÉDIGÉ PAR

KAREN KIDD, Université McMaster

ÉQUIPE DE RECHERCHE

FRANÇOIS GAGNÉ, Environnement et Changement climatique Canada

MARKUS HECKER, Université de la Saskatchewan
KAREN KIDD, Université McMaster

MARK SERVOS, Université de Waterloo

PARTENAIRES

VILLE DE REGINA

VILLE DE SASKATOON

ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA

EPCOR WATER

GRAND RIVER CONSERVATION AUTHORITY

REGION OF WATERLOO

VILLE DE QUÉBEC

VILLE DE MONTRÉAL

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION

WATER SECURITY AGENCY

RÉFÉRENCES

BAGATIM, T. *Characterizing endocrine disrupting potentials of municipal effluents from six treatment plants across Canada*. Thèse de doctorat, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, 2018, 198 p. Tiré de <https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/11823/BAGATIM-THESIS-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RÉSEAU CANADIEN DE L'EAU. *Défis et possibilités du Canada concernant la gestion des contaminants dans les eaux usées – Rapport du Comité national d'experts*, 2018. Tiré de <http://cwn-rce.ca/fr/project/defis-et-possibilites-du-canada-concernant-la-gestion-des-contaminants-dans-les-eaux-usees/>

HANSON, S. *Reproductive health assessment of fathead minnow (Pimephales promelas) populations inhabiting an effluent-dominated stream, Wascana Creek, Saskatchewan*. Thèse de doctorat, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, 2019.

HICKS, K.A., M.L.M. FUZZEN, E.K. MCCANN, M.J. ARLOS, L.M. BRAGG, S. KLEYWEGT, G.R. TETREAU, M.E. MCMASTEER ET M.R. SERVOS. « Reduction of intersex in a wild fish population in response to major municipal wastewater treatment plant upgrades », *Environmental Science & Technology* 2017, vol. 51, n° 3, p. 1811-1819.

LACAZE E., C. GAUTHIER C., C. ANDRÉ, P. COUTURE, M. DESROSIERS, F. CLOUTIER ET F. GAGNÉ. « Municipal effluent exposures in fathead minnows during partial life cycle: Endocrine disruptive effects and impact on reproduction », *Current Topics in Toxicology*, 2017, vol. 13, p. 31-45.

LACAZE E., C. GAUTHIER, P. COUTURE, C. ANDRÉ, F. CLOUTIER, M. FOURNIER ET F. GAGNÉ. « The effects of municipal effluents on oxidative stress, immunocompetence and DNA integrity in fathead minnow juveniles », *Current Topics in Toxicology*, 2017, vol. 13, p. 69-80.

ROUTLEDGE, E.J., D. SHEAHAN, C. DESBROW, G.C. BRIGHTY, M. WALDOCK, J.P. SUMPTER. « Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 2. In vivo responses in trout and roach », *Environmental Science & Technology*, 1998, vol. 32, n° 11, p. 1559-1565

STEEVES, K. *Comparing the effects of two municipal wastewater effluents on reproductive output and endocrine status in the fathead minnow (Pimephales promelas)*. Thèse de doctorat, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, 2018, 102 p. Tiré de <https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/11826/STEEVES-THESIS-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION, 2010. *Diagnostic Tools to Evaluate Impacts of Trace Organic Compounds*. CEC5R08. Alexandria, VA.

WATER ENVIRONMENT AND REUSE FOUNDATION, 2017. *Testing and Refinement of the Trace Organics Screening Tool*. CEC6R12. Alexandria, VA.