

ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX USÉES AUX FINS DE SURVEILLANCE ÉPIDÉMIOLOGIQUE

ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA

UNITÉ DE LA SCIENCE DES EAUX USÉES

14 OCTOBRE 2021

TABLE DES MATIÈRES

Contexte	1
Surveillance basée sur les eaux usées.....	3
Considérations de santé et de sécurité au travail	5
Hiérarchie des mesures de contrôle	6
Terminologie relative au traitement des eaux usées	8
Caractéristiques du bassin d’assainissement et du système de traitement	9
Échantillonnage des eaux usées	11
Principes et pratiques exemplaires.....	11
Techniques et équipement d’échantillonnage	13
Méthode d’échantillonnage	13
Échantillonnage composite	14
Échantillonnage ponctuel.....	16
Échantillonnage passif.....	17
Échantillonnage des boues et des biosolides.....	20
Échantillonnage dans le système de collecte	21
Que faut-il échantillonner?	21
Consultation des gestionnaires et des exploitants de l’UTEU	22
Fréquence de l’échantillonnage	22
Volume d’échantillonnage	23
Manipulation, transport, entreposage et contrôle de la qualité des échantillons	23
Métadonnées et contexte du plan de traitement des eaux usées.....	24
Sommaire	25
Collaborateurs	26
Références.....	27

CONTEXTE

La pandémie de COVID-19 causée par le coronavirus du syndrome respiratoire aigu sévère 2 (SRAS-CoV-2) a démontré la valeur de l'échantillonnage des eaux usées aux fins de surveillance des priorités épidémiologiques.

La surveillance environnementale des eaux usées n'est pas un concept nouveau et a été utilisée avec succès dans le passé pour détecter les épidémies virales de rougeole et de poliovirus¹⁻³, la présence de divers produits pharmaceutiques, y compris les substances légales et illicites (par exemple, le cannabis, les opioïdes, la cocaïne, la méthamphétamine), les substances psychoactives, les pesticides et l'exposition aux métaux lourds⁴⁻⁶. En outre, cette approche a été utilisée pour surveiller (i) les biomarqueurs endogènes de la santé (par exemple, les marqueurs du stress oxydatif), (ii) les maladies chroniques telles que le *diabète sucré* (par la détection de la métformine), (iii) l'impact des choix de mode de vie (tabac, alcoolisme) et (iv) la présence de bactéries résistantes aux antibiotiques^{4,7}.

La surveillance de routine des eaux usées fournit aux praticiens de la santé publique un outil de surveillance de masse dans les cas où les tests cliniques ne sont pas disponibles ou ont un coût prohibitif^{4,8,9}. Par conséquent, cette stratégie offre une option à fort impact et à faible coût pour obtenir des échantillons biologiques très représentatifs et non invasifs de populations ciblées desservies par les systèmes de collecte des eaux usées, en tant que complément évolutif et viable à la surveillance clinique pour contrôler une épidémie^{4,9,10}.

Correctement mise en œuvre, la surveillance épidémiologique des eaux usées a le potentiel de¹¹⁻¹³ :

1. Agir comme un signal d'avertissement précoce¹⁴⁻¹⁹ pour l'introduction d'un agent infectieux dans une population.
2. Dans l'état d'endémicité, démontrer la résurgence de la transmission communautaire, ce qui permet de déployer en temps utile la réponse de santé publique et de conserver les rares ressources de santé.

3. Fournir des marqueurs fiables indiquant les progrès réalisés en matière de contrôle, indépendamment des régimes de tests cliniques.
4. Fournir des données qui sont à la fois liées sur le plan temporel et spatial à l'émergence de grappes d'infection.
5. Allouer des ressources aux populations à haut risque pour prévenir et atténuer le fardeau d'une maladie.
6. Favoriser la confiance du public et le respect des recommandations en matière de santé publique grâce à des mesures de suivi des maladies.

Les caractéristiques notables de la surveillance basée sur les eaux usées sont les suivantes :

- **Utilisation efficace des ressources**¹⁴⁻¹⁹ - Échantillon de population groupé, hautement représentatif des grandes zones urbaines.
- **Rapidité** – Les résultats peuvent être obtenus dans les 24 à 48 heures, en fonction du délai entre le prélèvement et le traitement de l'échantillon.
- **Système d'avertissement précoce** – Il détermine les augmentations rapides de la prévalence des cas jusqu'à une semaine avant les méthodes cliniques traditionnelles.
- **Fiabilité et reproductibilité** – Technologie et expertise facilement disponibles à presque tous les niveaux du gouvernement.
- **Possibilité d'extension à de nombreux problèmes de santé publique à un coût minimal**^{4,6,9,10} – Consommation d'opioïdes, résistance aux antimicrobiens et agents pathogènes émergents.

SURVEILLANCE BASÉE SUR LES EAUX USÉES

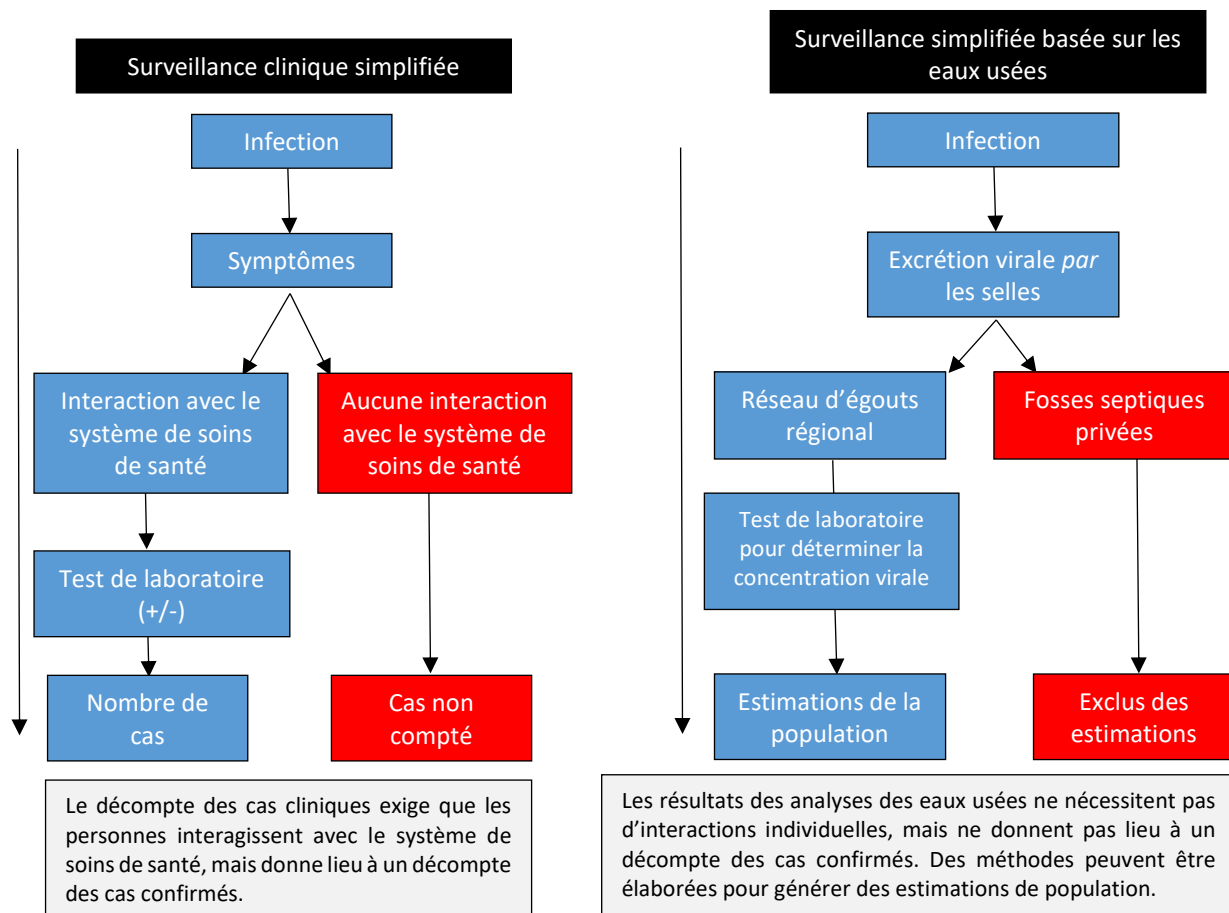


Figure 1 : Illustration comparative de la surveillance clinique et de la surveillance basée sur les eaux usées

La surveillance clinique d'une éclosion d'infection dépend fortement des personnes présentant des symptômes qui interagissent avec le système de santé. Contrairement à la surveillance clinique classique des maladies transmissibles, les résultats de la surveillance basée sur les eaux usées sont indépendants des personnes qui recherchent une aide médicale et contournent le système médical (Figure 1). Cette approche repose sur l'analyse d'un échantillon biologique groupé, non invasif, provenant d'une aliquote d'eaux usées collectées soit dans une usine de traitement des eaux usées centralisée desservant une collectivité (en aval), soit dans des sites sentinelles (en amont) (par exemple, des regards d'égouts/stations de pompage) dans un quartier, ou encore dans des points d'accès aux effluents d'installations d'hébergements en collectivité et de travail (par exemple, des établissements de soins de longue durée, des résidences universitaires). Cette méthode fournit également des données qui sont à la fois

temporellement et spatialement représentatives des tendances de l'infection à l'échelle de la communauté, du quartier et de l'institution²⁰⁻²². Toutefois, cette approche présente des limites, notamment les facteurs méthodologiques et procéduraux suivants :

- élaboration de protocoles de quantification fiables et normalisés;
- sensibilité et limites de détection des méthodes moléculaires utilisées pour surveiller l'agent dans les eaux usées;
- variabilité des taux d'excrétion entre les populations et au sein des populations à différents stades de l'infection et ajustements nécessaires pour tenir compte des différences potentielles de concentration;
- variabilité de la durée ou de la persistance de l'excrétion par des personnes précédemment infectées/asymptomatiques;
- stabilité inconnue de l'indicateur dans les eaux usées;
- limitations physiques et logistiques de l'accès aux points d'échantillonnage appropriés dans le système de collecte des eaux usées;
- conditions de débit et temps de déplacement variables des eaux usées dans les réseaux d'égouts;
- attribution de la source des eaux usées et du mélange qui se produit dans les conduites d'égouts avec les effets de dilution qui s'ensuivent, et dégradation du signal qui limite la résolution temporelle et spatiale en fonction de la prévalence du statut infectieux;
- identification et détermination de biomarqueurs fiables pour la normalisation des échantillons afin de contrôler les écarts systématiques dans les processus de récupération des eaux usées;
- détermination et normalisation des protocoles d'échantillonnage, de la conception et des essais afin d'optimiser la sensibilité, la fréquence, la périodicité et la rapidité des tests;
- capacité à fournir des estimations précises de la prévalence globale de l'infection à l'échelle communautaire, du quartier ou de l'établissement (par exemple, en tenant compte du navettage et du caractère transitoire de la population);
- détection de l'agent dans les populations non reliées à un réseau d'égouts;
- gestion du risque potentiel d'exposition à des particules infectieuses pour les travailleurs qui collectent des échantillons d'eaux usées^{20,21,23-32}.

Les problèmes de méthodologie et de procédure liés à la surveillance environnementale des agents infectieux n'excluent pas l'utilité de la surveillance des eaux usées en tant que système semi-quantitatif de détection précoce des tendances en matière de présence, d'absence et de réémergence¹⁶. La surveillance des eaux usées peut fournir aux responsables de la santé publique et aux décideurs un avertissement préalable leur permettant de décider où commencer le dépistage et quand introduire des mesures telles que des confinements obligatoires pour contenir les foyers d'infection. Cette approche peut également minimiser l'imposition de mesures restrictives dans des zones où elles ne sont pas nécessaires, fournir des données permettant de savoir quand ces mesures peuvent être réduites pour équilibrer la santé humaine et économique, et maintenir la confiance du public^{20,21}.

Considérations de santé et de sécurité au travail

Il existe des considérations générales de santé et de sécurité au travail à suivre lorsque l'on travaille avec des eaux usées. Toutes les considérations sont conformes aux recommandations du United States Centre for Disease Control³³. La reconnaissance des dangers et l'évaluation des risques constituent la première étape pour déterminer et contrôler ces risques sur un lieu de travail. Les employeurs doivent tous déterminer et contrôler les dangers sur le lieu de travail; à ce titre, une évaluation des risques visant à déterminer les contrôles et les mesures les plus appropriés pour un lieu de travail particulier pour lequel une tâche, à savoir la collecte d'échantillons d'eaux usées, aux fins d'analyse épidémiologique, doit être effectuée. Il est peu probable que le point de collecte des échantillons (par exemple, les bassins de traitement, les bâches d'aspiration, les clarificateurs ou les canaux), la méthode de collecte, les conditions environnementales (glaciales, humides) ou la facilité d'accès, entre autres, soient identiques pour chaque scénario. Une évaluation des risques au cas par cas sera donc nécessaire. Une fois que le risque de la tâche a été déterminé, des mesures d'atténuation appropriées peuvent être mises en œuvre. Le site de collecte peut présenter d'autres dangers pouvant entraîner des blessures, tels que, mais pas exclusivement, des produits chimiques, des espaces confinés, des glissades, des trébuchements et des chutes, entre autres. L'évaluation des risques et l'analyse des dangers de la tâche doivent déterminer où et comment ces dangers peuvent exister. Des procédures d'opération normalisées (PON) dotées de mesures d'atténuation doivent être élaborées pour prévenir les blessures ou les maladies.

Hiérarchie des mesures de contrôle

Dans la plupart des lois canadiennes sur la sécurité et la santé au travail (SST), il existe une hiérarchie des méthodes visant à protéger les travailleurs contre les risques professionnels. En général, les mesures de contrôle privilégiées consistent à éliminer les dangers. Toutefois, il arrive que cela ne soit pas possible, car il faut prélever directement des échantillons de la matrice présentant le danger. Par conséquent, il convient d'appliquer ce qui suit :

- (i) méthodes d'ingénierie visant à prévenir ou à minimiser l'exposition au danger; c'est-à-dire
 - Assurez-vous que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement lorsque vous travaillez dans des zones où les eaux usées peuvent être transformées en aérosol et où des produits chimiques sont utilisés.
- (ii) gestion administrative de l'exposition aux risques ou des méthodes de travail;
 - Effectuez une évaluation des risques et une analyse des dangers du site avant de commencer le travail afin de déterminer les éventuels dangers pouvant entraîner des blessures et de mettre en œuvre des mesures d'atténuation.
 - Suivez toutes les procédures de sécurité, qu'il s'agisse d'image ou de consignes écrites ou verbales, lorsque vous êtes sur le site.
 - Les personnes collectant les échantillons (c'est-à-dire les échantillonneurs) doivent recevoir une formation sur la prévention des maladies, y compris des renseignements sur les pratiques d'hygiène de base, l'utilisation et l'élimination de l'équipement de protection individuelle et la manipulation correcte des eaux usées.
 - Les récipients d'échantillons doivent être nettoyés et désinfectés après la collecte des échantillons afin d'éviter toute transmission possible de matières potentiellement dangereuses lors des manipulations ou analyses ultérieures.
 - Le personnel d'échantillonnage reçoit des vaccins conformes aux recommandations pour les travailleurs exposés aux eaux usées, en consultation avec les autorités sanitaires locales (par exemple, lorsque l'hépatite A est endémique dans la population). Les vaccins, tels que le tétanos, doivent être à jour.

- Les échantillonneurs doivent consulter rapidement un médecin s'ils présentent des signes ou des symptômes de diarrhée, tels que des vomissements, des crampes d'estomac et une diarrhée aqueuse.
 - Évitez de transformer les eaux usées en aérosol ou minimisez le temps d'exposition dans les zones où une transformation en aérosol peut se produire.
 - Lavez-vous les mains à l'eau et au savon immédiatement après avoir manipulé les eaux usées.
 - Évitez de vous toucher le visage, la bouche, les yeux, le nez ou les plaies et coupures ouvertes pendant la manipulation des eaux usées.
 - Après avoir manipulé les eaux usées, lavez-vous les mains à l'eau et au savon avant de manger, de boire ou d'aller aux toilettes.
 - Vous ne devez pas fumer, manger ou boire pendant la manipulation des eaux usées.
 - Recouvrez les plaies ouvertes, les coupures et les blessures de bandages propres, secs et imperméables et protégez-les par un EPI.
 - Si vous souffrez d'une maladie qui pourrait être exacerbée par le contact avec les eaux usées ou d'autres dangers présents sur le site, consultez un médecin avant de vous engager dans cette tâche.
- (iii) Un équipement de protection individuelle (EPI) approprié pour l'échantillonneur et une formation adéquate pour son utilisation [le mettre et l'enlever] afin de prévenir les blessures et d'éviter l'autocontamination. L'équipement suivant est recommandé :
- écran facial anti-projection pour protéger les yeux, le nez et la bouche des éclaboussures;
 - masque de protection pour éviter l'inhalation d'aérosols;
 - combinaisons hydrofuges pour se protéger contre la contamination des vêtements et du corps;
 - gants imperméables pour se protéger les mains;
 - bottes de sécurité en caoutchouc.

En outre, il est recommandé de :

- se laver les mains à l'eau et au savon immédiatement après avoir retiré l'EPI;
- mettre l'EPI contaminé et réutilisable dans un sac imperméable pour le laver avec un savon approprié et le désinfecter si nécessaire.

Remarque :

- (i) Les autorités fédérales-provinciales-territoriales (FPT), les autorités municipales et les exigences en matière de santé et de sécurité au travail de l'établissement peuvent avoir des exigences supplémentaires ou différentes pour le personnel et les visiteurs travaillant sur leur site.
- (ii) Les recommandations en matière de SST énumérées ci-dessus sont fondées sur les pratiques exemplaires et les procédures actuelles. Les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs sont susceptibles de varier d'un site à l'autre. Il convient donc de consulter un professionnel de la santé et de la sécurité qualifié pour créer un plan de santé et de sécurité des travailleurs propre au site.

[Terminologie relative au traitement des eaux usées](#)

La terminologie des descriptions des lieux d'échantillonnage doit être claire et uniforme. Elle varie d'une usine de traitement des eaux usées (UTEU) à l'autre et d'une région du monde à l'autre. Le schéma dans la Figure 2 représente les processus de traitement et la terminologie typiques de l'Amérique du Nord.

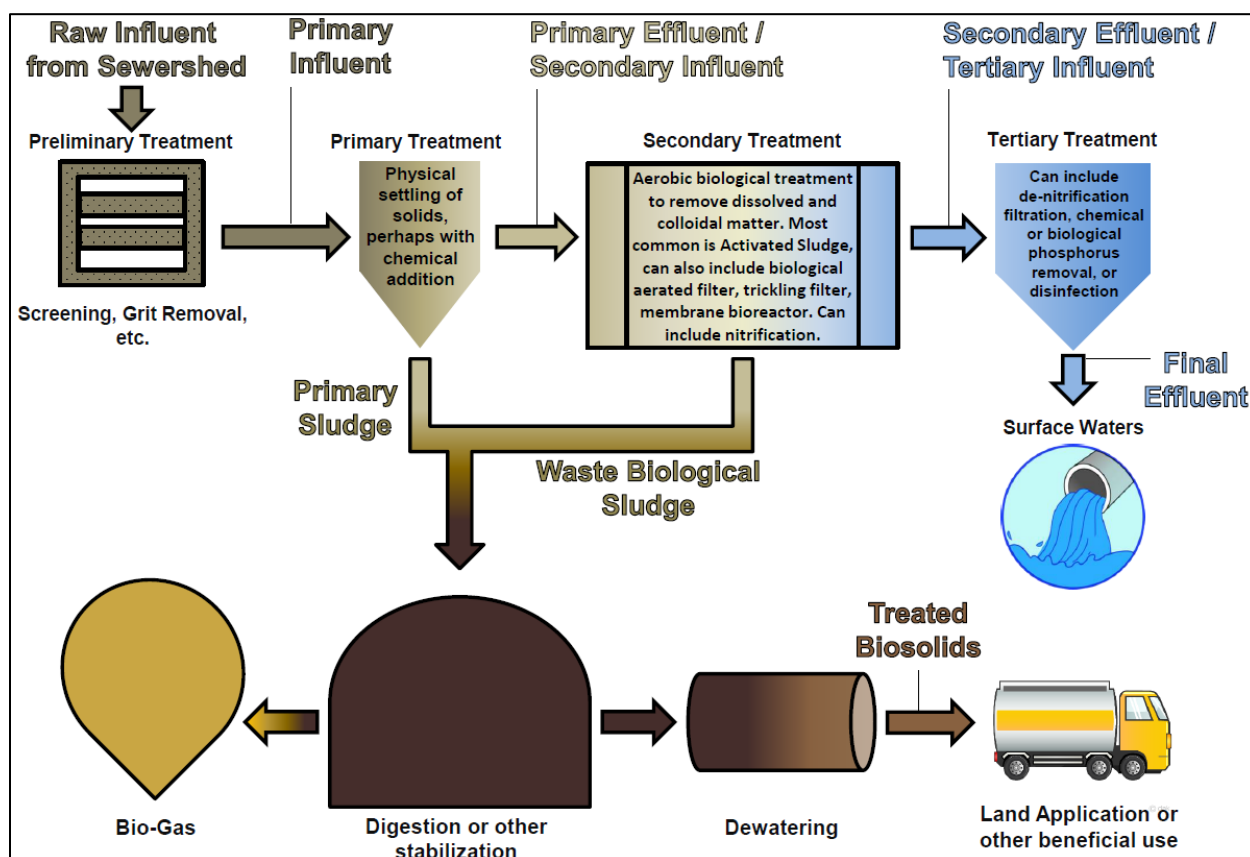


Figure 2 : Schéma typique du traitement des eaux usées et terminologie des points d'échantillonnage (en anglais)

Caractéristiques du bassin d'assainissement et du système de traitement

Bien que la plupart des systèmes de traitement des eaux usées comprennent la plupart des opérations unitaires et des processus illustrés dans la Figure 2, on peut observer des variations, notamment l'absence de clarificateur primaire dans un système de boues activées par aération prolongée, ou des temps de rétention hydraulique inhabituellement longs dans une UTEU qui a été conçue pour des débits futurs plus élevés. En outre, chaque bassin d'assainissement est unique et contient des proportions différentes d'apports résidentiels, industriels, commerciaux et institutionnels (ICI). Le Tableau 1 énumère les renseignements généraux à recueillir lors de l'évaluation d'un bassin d'assainissement ou d'une UTEU en vue d'un échantillonnage.

D'autres renseignements sur les bassins d'assainissement et les UTEU peuvent être pertinents pour l'étude, notamment :

- Perturbations du processus ou maintenance du système (par exemple, rinçage du système de collecte, processus unitaires hors ligne dans l'installation de traitement) qui pourraient rendre les échantillons non représentatifs.
- Les bassins versants avec une importante population de passage (tourisme, travailleurs journaliers), où les échantillons prélevés pendant les jours de semaine peuvent être très différents de ceux de la fin de semaine.

Tableau 1 : Liste de vérification des renseignements pour l'échantillonnage de l'UTEU

Éléments de données pour l'évaluation du bassin d'assainissement ou de l'UTEU aux fins d'échantillonnage
• Date
• Nom de l'usine, adresse, itinéraire
• Personnes-ressources (nom, téléphone, courriel)
• Populations desservies
• Débit moyen (m ³ /j)
• % d'intrants nationaux
• % d'intrants industriels/commerciaux/institutionnels. Y a-t-il des intrants individuels ICI significatifs?
• Durée maximale de déplacement dans le système de collecte (heures)
• Dégrillage et dessablage (oui/non, quel type)
• Emplacement de l'échantillonneur d'affluent (en amont de tout ajout de produit chimique ou de toute recirculation interne)
• Clarification primaire (oui, non)
• Emplacement de l'échantillonneur de l'effluent primaire
• Détails de l'aération
• Temps de rétention des matières solides (TRMS, jours)
• Matières solides en suspension dans la liqueur mixte (MSSL) dans le bassin d'aération
• Clarification secondaire (oui, non)
• L'UTEU est-elle exploitée pour la nitrification?
• Élimination du phosphore (oui/non, points d'ajout de produits chimiques)
• Traitement tertiaire (filtration, autre?)
• Désinfection (oui/non, quel type)
• Emplacement de l'échantillonneur de l'effluent terminal
• Temps de rétention hydraulique de l'usine (TRH, heures)
• Plan d'eau récepteur
• Détails sur les boues primaires (BP)

• Détails sur les boues activées excédentaires (BAE) (les boues activées excédentaires subissent-elles un coépaississement dans les clarificateurs primaires?)
• Les BP et les BAE sont-elles mélangées avant le traitement?
• Emplacement de l'échantillon de boue brute
• Type de traitement des matières solides
• Déshydratation (lieu de recirculation du centrât ou du surnageant?)
• Emplacement de l'échantillon de biosolides traités
• Destination des biosolides

Échantillonnage des eaux usées

Principes et pratiques exemplaires

Les eaux usées comprennent toute eau utilisée. Elles peuvent contenir des déchets humains, des eaux de lavage ménager, des intrants commerciaux, institutionnels et industriels, des apports d'eaux pluviales et d'autres connexions croisées involontaires, ainsi que des infiltrations d'eaux souterraines à travers les fissures et les joints.

En raison de la variété des composants potentiellement dangereux présents dans les eaux usées, en particulier les micro-organismes infectieux provenant des déchets humains, un équipement de protection individuelle (EPI) approprié doit toujours être porté lors de la collecte d'échantillons d'eaux usées et du travail avec l'ensemble du matériel et des fournitures connexes. L'EPI minimal comprend des gants jetables et des lunettes de sécurité; un EPI supplémentaire peut inclure un écran facial, un masque, une combinaison jetable, des bottes en caoutchouc ou des bottes à embout d'acier, selon le site d'échantillonnage et le risque d'éclaboussures ou de pulvérisation.

Les rejets d'eaux usées des ménages, des institutions, des installations commerciales et industrielles sont généralement variables, tant en termes de débit que de composition. Le débit des eaux usées dans les bassins d'assainissement à usage mixte a tendance à suivre un schéma diurne, comme l'illustre la Figure 3.

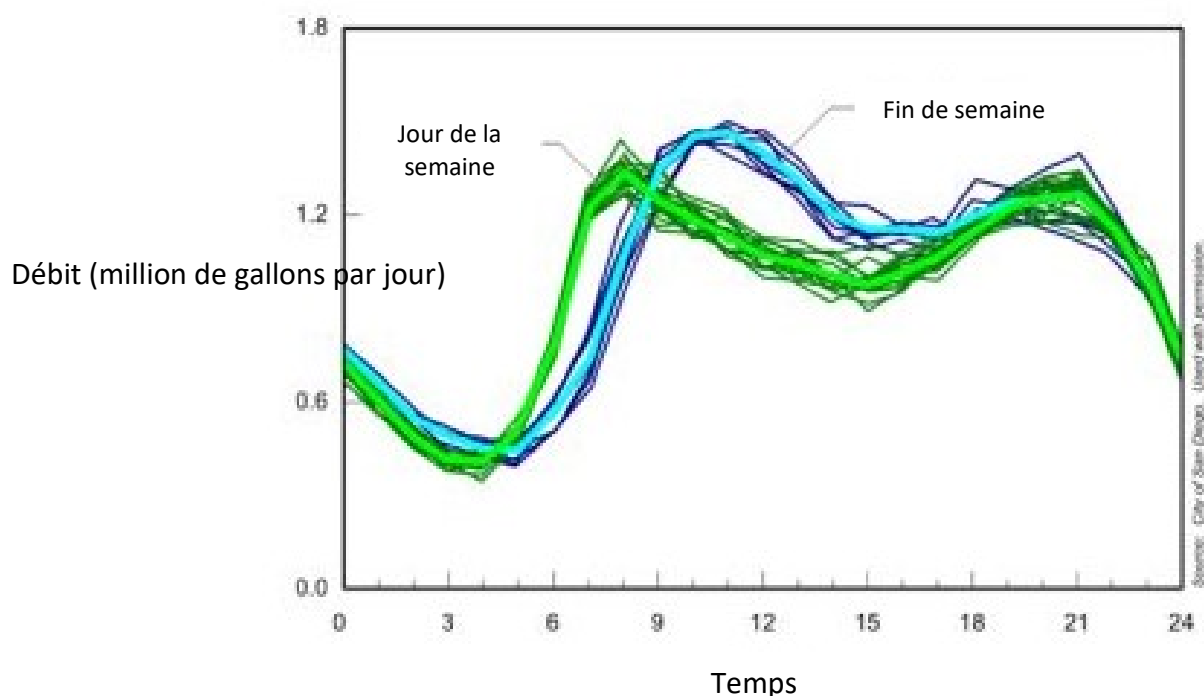


Figure 3 : Exemple de schéma diurne de débit des eaux usées³⁴

L'étude des composants chimiques ou biologiques des eaux usées nécessite la collecte d'échantillons représentatifs et uniformes afin de tirer des conclusions appropriées. Au début des années 2000, lorsque la question des produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP) dans les eaux usées s'est présentée, une grande variété de détails et de techniques d'échantillonnage ont été publiés dans des revues. Un examen complet des renseignements publiés sur l'échantillonnage³⁵ a révélé que, dans de nombreux cas, ces renseignements étaient insuffisants pour permettre la reproduction de l'étude, et/ou qu'une conception inadéquate de la méthode d'échantillonnage pouvait entraîner une surinterprétation des données et des conclusions erronées. De même, un examen des études sur la surveillance des eaux usées pour la détection de l'ARN du SRAS-CoV-2 dans les eaux usées³⁶ a révélé que les détails concernant la configuration de l'échantillonneur automatique, ainsi que la durée de l'échantillonnage ponctuel, n'ont pas été correctement déclarés, ce qui a affaibli l'interprétation des résultats.

La technique d'échantillonnage idéale pour les eaux usées est un débit latéral continu qui capte toute la variation du débit et de la composition^{35,37}. Cependant, la plupart des études sur les eaux usées et des points d'échantillonnage ne se prêtent pas à cette option. Cette section présente une série d'options pratiques pour la collecte d'échantillons d'eaux usées en tenant compte des diverses limites du monde réel.

Techniques et équipement d'échantillonnage

À moins que l'étude vise à examiner les différences dans les caractéristiques des eaux usées pendant les orages, l'échantillonnage des paramètres chimiques et biologiques doit être effectué par temps sec. Même dans les bassins d'assainissement dotés d'égouts sanitaires et pluviaux séparés, il y a toujours un certain degré d'afflux et d'infiltration, et les orages modifient à la fois le débit et la composition des eaux usées : les eaux pluviales diluent les paramètres d'intérêt et entraînent également une plus grande proportion de matières inorganiques (sable, gravillons) dans le débit. Après un phénomène pluvial, il est important de vérifier avec les exploitants de l'UTEU que les débits sont revenus aux niveaux observés par temps sec; selon la gravité de l'événement et les caractéristiques du bassin d'assainissement, cela peut prendre plusieurs jours.

En l'absence d'un échantillonnage continu du débit latéral, la cascade de préférence pour un échantillonnage représentatif des eaux usées est^{37,37} :

1. Composite proportionnel au débit avec une fréquence d'échantillonnage élevée (<15 min)
2. Composite à volume égal avec une fréquence d'échantillonnage élevée (< 15 min)
3. Série d'échantillons ponctuels, composition manuelle
4. Échantillons individuels

Méthode d'échantillonnage

Il existe trois méthodes différentes de collecte d'échantillons utilisées pour la surveillance épidémiologique des eaux usées : l'échantillonnage composite, l'échantillonnage ponctuel et l'échantillonnage passif. L'échantillonnage composite consiste à regrouper plusieurs échantillons ponctuels prélevés à une fréquence donnée pendant une période déterminée, qui est généralement de 24 heures pour la surveillance des eaux usées. Les échantillons composites peuvent être collectés manuellement ou à l'aide d'échantillonneurs automatisés avec ou sans

capacité de réfrigération (qui collectent des échantillons pondérés en fonction du débit par X gallons de débit, ou des échantillons chronométrés à volume égal tel qu'il est décrit ci-dessus). De même, l'échantillonnage passif se déroule sur une période déterminée, mais implique l'utilisation d'un matériau sorbant immergé dans un débit continu. L'échantillonnage passif donne un aperçu du contenu des eaux usées sur une période donnée. L'échantillonnage ponctuel, quant à lui, constitue une collecte rapide et manuelle qui ne nécessite pas d'équipement automatisé. Les échantillons ponctuels représentent des moments uniques dans le temps et sont largement influencés par les fluctuations quotidiennes du débit et de la composition des eaux usées. De plus amples renseignements sur chaque approche sont fournis ci-dessous.

Échantillonnage composite

Les échantillons composites sont prélevés en collectant des aliquotes d'eaux usées et en les mélangeant un certain temps. Divers échantillonneurs automatiques sont disponibles : HACH et ISCO sont deux fabricants populaires (Figure 4, Figure 5, respectivement). Les échantillonneurs automatiques sont disponibles en modèles portatifs, réfrigérés et adaptés à toutes les conditions météorologiques. Des débitmètres peuvent être ajoutés pour un échantillonnage proportionnel au débit, et des capteurs multiparamètres en ligne (par exemple, conductivité, oxygène dissous) peuvent être ajoutés pour collecter des données supplémentaires. Les échantillonneurs automatiques portatifs ne sont pas réfrigérés, mais sont plus légers et plus faciles à installer dans une grande variété d'endroits, y compris les trous d'homme. Les échantillonneurs automatiques adaptés à toutes les conditions météorologiques sont lourds et encombrants, conçus pour être installés et rester à un seul endroit. Les échantillonneurs automatiques réfrigérés peuvent être déplacés d'un endroit à un autre par une équipe de deux personnes physiquement aptes, et constituent l'équipement privilégié pour la plupart des échantillonnages d'eaux usées en raison de la conservation des échantillons assurée par la réfrigération.



Figure 4. Échantillonneurs automatiques HACH Sigma. De gauche à droite : échantillonneur réfrigéré AS950; échantillonneur réfrigéré adapté à toutes les conditions météorologiques AS950; échantillonneur portable AS950³⁸



Figure 5. Échantillonneurs automatiques ISCO. À gauche et à droite : échantillonneur portable ISCO 6712; au centre : échantillonneur réfrigéré ISCO 5800³⁹

L'échantillonnage composite avec des échantillonneurs automatiques présente des limites. Le lieu d'échantillonnage (canal, réservoir, bêche d'aspiration, etc.) doit avoir un débit continu et suffisant pour maintenir la ligne d'échantillonnage immergée à tout moment pendant la période d'échantillonnage. Comme le montre la Figure 3, les débits ont tendance à diminuer fortement pendant la nuit. Le tube de collecte de l'échantillon doit être protégé contre l'obstruction par des chiffons et autres débris, de préférence en installant l'échantillonneur automatique en aval du dégrillage. Bien que les échantillonneurs automatiques soient équipés de batteries de secours, celles-ci ne fonctionnent pas de manière fiable lorsqu'il fait froid et ne permettent pas d'alimenter le réfrigérateur. L'accès à une alimentation électrique de 110V est préférable.

Échantillonnage ponctuel

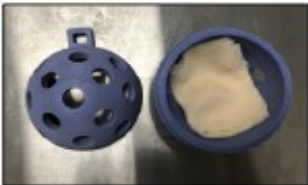
Un échantillon ponctuel est prélevé à un moment donné. Bien que l'échantillonnage ponctuel soit généralement considéré comme une approche inférieure, il peut être la seule option dans les endroits où il est impossible d'installer des échantillonneurs automatiques (par exemple, en raison d'un débit intermittent ou d'un manque d'électricité) ou lorsque l'utilisation de tubes d'échantillonnage automatique risque de contaminer les échantillons. Il représente également la technique appropriée lorsque l'objectif de l'étude est d'examiner les différences dans la

composition des eaux usées au fil du temps. Les échantillons ponctuels peuvent être collectés à l'aide d'un seau et d'une corde ou d'une « bandelette » extensible, en fonction de l'accès au canal ou au réservoir d'eaux usées.

Échantillonnage passif

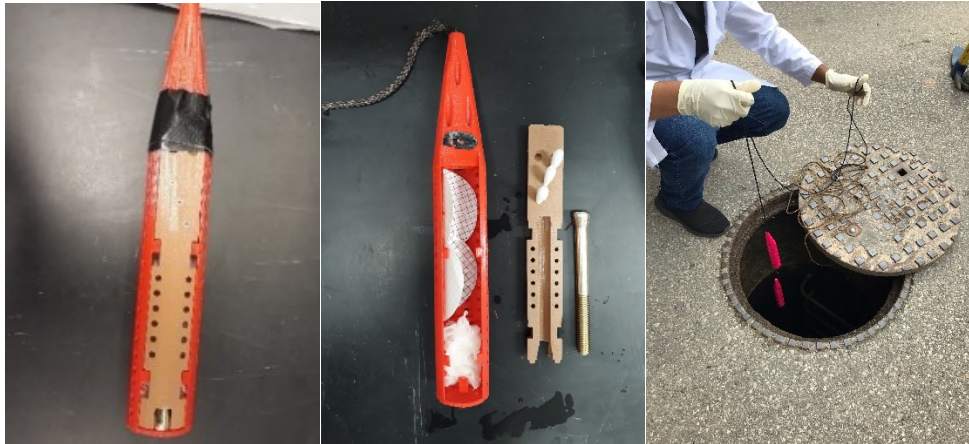
Les échantillons passifs sont collectés au cours d'une période déterminée en immergeant un matériau sorbant dans un débit continu d'eaux usées. Plusieurs méthodes d'échantillonnage passif sont facilement disponibles, comme la cage d'égout de pour détecter la COVID-19 (COSCa), les torpilles et les écouvillons de Moore modifiés (tampons Dunks), qui utilisent une variété de matériaux absorbants, notamment des filtres à membrane électronégative, de l'étamine ou de la gaze, et des cotons-tiges. Le Tableau 2 fournit des détails sur les divers échantillonneurs passifs et les méthodes actuellement utilisés au Canada pour la surveillance du SRAS-CoV-2.

Tableau 2. Techniques d'échantillonnage passif actuellement mises en œuvre au Canada

Cage d'égout pour détecter la COVID-19 (COSCa)	
a) 	b) 
c) 	d) 
(Source : Surveillance des eaux usées du SRAS-CoV-2 à l'aide de la cage d'égout COVID-19 [COSCa] – Procédure d'opération normalisée, Centre for Water Resources Studies, Université Dalhousie) Le dispositif COSCa est une cage d'échantillonnage passif imprimée en trois dimensions, conçue pour être déployée dans un large éventail de sites d'échantillonnage des égouts auxquels on accède par des trous d'homme, des stations de relèvement et des systèmes de canalisation. Le dispositif a un diamètre de 10 cm et comprend 26 trous de 1,5 cm de diamètre chacun⁴⁰. Cette figure montre un morceau d'étamine en coton (a) à l'intérieur d'une cage COSCa (b) et des filtres à membrane électronégative (c) à l'intérieur d'une pièce du dispositif COSCa (d). Ressources : • Télécharger les fichiers d'impression trois dimensions : Dispositif et pièce COSCa	

- PON de déploiement du dispositif COSCa : [Déploiement d'un dispositif COSCa dans un trou d'homme – YouTube](#)
- Hayes, E. K., Sweeney, C. L., Anderson, L. E., Li, B., Erjavec, G. B., Gouthro, M. T., Krkosek, W. H., Stoddart, A. K. et Gagnon, G. A., 2021. Nouvelle approche d'échantillonnage passif pour la détection du SARS-CoV-2 dans les eaux usées dans une province canadienne avec une faible prévalence de COVID-19.
<https://doi.org/10.1039/D1EW00207D>

Torpille



(Source : D' Peter Vanrolleghem et D' Dominic Frigon, CentrEau; D' Ed McBean, Université de Guelph)

Les échantillonneurs passifs torpilles peuvent contenir des gazes, des filtres à membrane électro négative et des cotons-tiges. La petite taille de l'échantillonneur (15-20 cm de long, environ 3 cm de diamètre) permet une installation facile dans les bâtiments et sa forme étroite réduit le risque d'obstruction des systèmes de tuyauterie. Lorsque vous déployez l'échantillonneur, il doit être posé à plat dans le courant, l'extrémité pointue dirigée vers l'amont.

Ressources :

- Télécharger les fichiers d'impression trois dimensions : [Échantillonneur passif – BoSL Wiki](#)
- Schang, C., Crosbie, N., Nolan, M., Poon, R., Wang, M., Jex, A., John, N., Baker, L., Scales, P., Schmidt, J., Thorley, B., Hill, K., Zamyadi, A., Tseng, K., Henry, R., Kolotelo, P., Langeveld, J., Schilperoort, R., Shi, B. et McCarthy, D., 2020. Échantillonnage passif de virus pour la surveillance des eaux usées. *Science de l'environnement : Recherche et technologie de l'eau*, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24138.39367>
- Habtewold, J., McCarthy, D., McBean, E., Law, I., Goodridge, L., Habash, M. et Murphy, H. M., 2022. Échantillonnage passif, une méthode pratique pour la surveillance du SRAS-CoV-2 dans les eaux usées. *Recherche environnementale*, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112058>

- Affiche électronique sur l'utilisation d'échantillonneurs torpilles dans les refuges pour sans-abri, Université Laval : [Visualiseur de la boîte à outil d'apprentissage \(lbtb.io\)](https://lbtb.io) (Learning Toolbox Viewer)



L'écouvillon de Moore classique est fabriqué à partir de gaze repliée sur elle-même selon un motif plissé pour créer un tampon (A à D). Le tampon est ensuite attaché au centre à l'aide d'un fil de pêche (E). Un écouvillon de Moore modifié (tampon Dunk) est semblable à l'écouvillon classique, mais au lieu d'utiliser un tampon de gaze fabriqué, l'écouvillon modifié utilise un produit d'hygiène féminine.

- Bivins, A., Lott, M., Shaffer, M., Wu, Z., North, D., Lipp, E.K. et Bibby, K., 2021. Building-level wastewater monitoring for COVID-19 using tampon swabs and RT-LAMP for rapid SARS-CoV-2 RNA detection. *Preprints*, 2021050381. [doi: 10.20944/preprints202105.0381.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202105.0381.v1)
- Corchis-Scott, R., Geng, Q., Seth, R., Ray, R., Beg, M., Biswas, N., Charron, L., Drouillard, K.D., D'Souza, R., Heath, D.D., Houser, C., Lawal, F., McGinlay, J., Menard, S.L., Porter, L.A., Rawlings, D., Tong, Y., Scholl, M.L., Siu, K.W.M., Weisener, C.G., Wilhelm, S.W., McKay, R.M.L. 2021. Averting an outbreak of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in a university residence hall through wastewater surveillance. *medRxiv* doi.org/10.1101/2021.06.23.21259176

- Liu, P., Ibaraki, M., VanTassell, J., Geith, K., Cavallo, M., Kann, R. et Moe, C., 2020. A novel COVID-19 early warning tool: Moore Swab method for wastewater surveillance at an institutional level. *medRxiv* doi.org/10.1101/2020.12.01.20238006
- Sikorski, M.J. et Levine, M.M., 2020. Reviving the “Moore swab”: a classic environmental surveillance tool involving filtration of flowing surface water and sewage water to recover typhoidal *Salmonella* bacteria. *Applied and environmental microbiology*, 86(13): e00060-20. doi.org/10.1128/AEM.00060-20

L'échantillonnage passif présente plusieurs limites. Alors l'échantillonnage passif peut être supérieur aux autres méthodes d'échantillonnage pour les événements de faible détection à petite échelle, les approches actuelles ne permettent pas d'effectuer une quantification comparable pour les événements de forte détection à plus grande échelle. Bien que des études récentes aient indiqué la possibilité d'une quantification avec les techniques actuelles d'échantillonnage passif^{40,41}, l'établissement d'un lien entre les concentrations d'ARN viral éluées du matériau adsorbant et l'échantillon d'eau usée dans lequel il a été prélevé pose un problème en raison (1) de la possibilité que le matériau adsorbant devienne saturé pendant la période d'échantillonnage et (2) de l'impossibilité de déterminer avec précision le débit passant par le dispositif d'échantillonnage. En raison de ces limites, l'échantillonnage passif est utilisé principalement pour déterminer la présence ou l'absence d'agents infectieux dans les eaux usées à une échelle locale plutôt que pour la quantification. Les échantillonneurs passifs peuvent être déployés dans des endroits où le débit est continu ou intermittent; toutefois, un débit important peut nuire à l'efficacité de l'échantillonneur. Les échantillonneurs sont également susceptibles d'être obstrués par des chiffons et des débris s'ils sont immergés dans un endroit situé en amont du dégrillage.

Échantillonnage des boues et des biosolides

En raison des temps de rétention de deux à huit heures dans les clarificateurs primaires et secondaires, les boues primaires et les boues activées excédentaires peuvent être considérées comme composées in situ. De même, les temps de rétention de 10 à 30 jours dans les digesteurs et autres procédés de traitement des solides produisent des biosolides qui sont intrinsèquement composites. De plus, les points d'accès à l'échantillonnage de ces cours d'eau sont généralement des tuyaux fermés qui ne peuvent pas accueillir d'échantillonneurs automatiques. Par

conséquent, les échantillons de boues et de biosolides sont prélevés à l'aide de techniques d'échantillonnage ponctuel.

Échantillonnage dans le système de collecte

Le système de collecte des eaux usées ressemble à un bassin versant en ce sens qu'il comprend de petites conduites d'alimentation (affluents) et de grandes conduites principales ou tronçons (rivières). L'échantillonnage dans le système de collecte présente plus de complications et de limites que dans une UTEU. Les trous d'entretien peuvent être situés dans les rues ou dans les parcs. La profondeur de l'écoulement de l'eau peut être assez importante. Il est possible que les sources d'électricité ne soient pas disponibles. Pour accéder à l'eau, il peut être nécessaire d'entrer dans un espace confiné, avec les risques associés et la formation requise. Ces caractéristiques peuvent rendre l'installation et la sécurité de l'échantillonneur automatique très difficiles, voire impossibles, ce qui nécessite le recours à l'échantillonnage ponctuel ou passif.

Que faut-il échantillonner?

Deux substrats principaux sont échantillonnés aux fins de surveillance :

1. Pour la surveillance épidémiologique basée sur les eaux usées, les eaux usées brutes et non traitées sont l'échantillon privilégié. Les eaux usées non traitées comprennent les déchets ménagers (toilettes, douches, éviers de cuisine) et les déchets provenant de sources non ménagères (eaux de pluie, utilisation industrielle). Une bonne corrélation a été démontrée entre les variations des concentrations d'ARN du SRAS-CoV-2 dans les échantillons d'eaux usées et les tendances des cas d'infection par le SRAS-CoV-2 signalés⁴².
2. Les boues primaires sont constituées de matières solides en suspension qui se déposent à partir des eaux usées pendant la sédimentation primaire. Il peut s'agir de la matrice privilégiée pour les indicateurs associés à la partie solide des eaux usées, comme l'acide nucléique viral⁴³.

Consultation des gestionnaires et des exploitants de l'UTEU

Les gestionnaires et les exploitants de l'UTEU sont très fiers de leur travail et souhaitent soutenir la recherche et la surveillance des eaux usées. Ils possèdent une connaissance détaillée des systèmes de collecte et de traitement et peuvent fournir une perspective réelle et des recommandations pour aider à atteindre les objectifs de l'étude. Les responsables de l'étude et le personnel de terrain doivent toujours demander l'avis des opérateurs pour déterminer les meilleurs emplacements d'échantillonnage, et pour connaître les détails de l'installation de l'échantillonneur automatique afin de s'assurer qu'il est installé à un endroit qui (i) est conforme aux exigences de santé et de sécurité de la STEP, et (ii) qui fournit le type d'échantillon souhaité.

En tant que services publics, les UTEU fonctionnent selon des budgets stricts. Leur personnel est entièrement occupé par ses tâches quotidiennes. Il est essentiel de respecter le temps qu'ils consacrent à leur travail, c'est-à-dire que vous ne devez pas supposer qu'ils peuvent collecter des échantillons pour votre étude en plus de leur charge de travail existante. Si le gestionnaire de l'UTEU accepte que son personnel prélève des échantillons, il est essentiel de s'adresser directement aux exploitants pour leur expliquer en détail quels types d'échantillons sont nécessaires et pourquoi. Avec cette information et cet engagement, les exploitants sont plus susceptibles de déployer un effort supplémentaire pour collecter les échantillons d'étude de manière appropriée.

Fréquence de l'échantillonnage

Le responsable de l'étude tiendra compte des facteurs suivants pour décider de la fréquence de l'échantillonnage :

- les objectifs de la surveillance, qui peuvent aller de l'avertissement précoce ou du suivi des tendances dans la collectivité au dégrillage pour déterminer l'indicateur sur un site cible précis (établissement de soins de longue durée, écoles, hôpitaux, prisons, etc.)^{20-22,44-46,}
- la disponibilité des ressources (personnel de terrain, équipement, capacité d'analyse);
- les caractéristiques du débit des eaux usées;
- l'emplacement géographique de l'usine de traitement des eaux usées.

Volume d'échantillonnage

Le volume d'échantillons à prélever dépend du type d'échantillon (les eaux usées par rapport aux boues), de la nécessité de reproduire les mesures et/ou de mesurer la variabilité biologique, ou de la nécessité de prévoir des tests supplémentaires ou non. Si vous utilisez des échantillonneurs automatiques, il est recommandé de programmer un volume minimum de 100 mL par aliquote, puis d'agiter soigneusement l'échantillon en vrac et de sous-échantillonner le volume requis. Les échantillonneurs automatiques ne sont pas des instruments de précision et l'étalonnage du volume devient moins précis pour des volumes d'aliquotes plus faibles.

Manipulation, transport, entreposage et contrôle de la qualité des échantillons

En raison de leur nature, les échantillons d'eaux usées sont très « actifs », c'est-à-dire un haut degré d'activité biologique fera changer la nature de l'échantillon assez rapidement. Les échantillons d'eaux usées contiennent également des solides en suspension, qui font partie intégrante de la matrice. Après le prélèvement, les échantillons doivent être refroidis à 4 °C le plus rapidement possible, expédiés à température froide en utilisant de la glace naturelle ou des blocs réfrigérants, et en utilisant le moyen de transport le plus rapide disponible. Dès leur arrivée au laboratoire, ils doivent être extraits le plus rapidement possible. Les méthodes standard⁴⁷ recommandent l'extraction dans les sept jours suivant la collecte lors de l'analyse de contaminants chimiques à l'état de traces tels que les composés organiques semi-volatils; toutefois, les temps de rétention peuvent varier en fonction de la cible d'intérêt. Les échantillons doivent être secoués fréquemment et soigneusement au cours de tout sous-échantillonnage sur le terrain ou en laboratoire afin de maintenir en suspension les matières solides en suspension et de maximiser l'homogénéité de l'échantillon.

L'échantillonnage composite, ponctuel et passif comprend l'utilisation de biens consommables (tubes, bouteilles) et de récipients et matériel réutilisables. Ces récipients et matériel doivent être testés pour s'assurer que le système d'échantillonnage n'introduit pas de contaminants dans les échantillons. L'eau de qualité laboratoire peut être utilisée pour créer des échantillons témoins de l'équipement en simulant un événement d'échantillonnage qui comprend tous les matériaux d'échantillonnage : tubes d'échantillonnage, tubes de pompe, sorbants et dispositifs d'échantillonnage passif, récipients de collecte et récipients de sous-échantillonnage.

Métadonnées et contexte du plan de traitement des eaux usées

Comme nous l'avons vu plus haut, une étude sur les eaux usées doit être conçue dans le contexte des réalités et des détails du système de collecte et de traitement. Les échantillons d'eaux usées devraient toujours être caractérisés pour les paramètres classiques afin de fournir le contexte du degré de dilution des eaux usées et de l'efficacité du processus de traitement. Ces paramètres sont énumérés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Paramètres des eaux usées classiques⁴⁷

Paramètre	Commentaires
Température – processus	Indicateur des conditions microbiennes pour le traitement
Température – échantillon	Confirmation de la température d'entreposage cible pendant l'échantillonnage et le transport des échantillons
pH	Indicateur pour la chimie générale et la microbiologie
Alcalinité	Indicateur de la capacité tampon et de la nitrification
Matières solides en suspension totaux (MSS)	L'analyse gravimétrique empirique, qui représente l'indicateur du degré de dilution des eaux usées et de l'efficacité du traitement, peut être corrélée avec certains constituants chimiques et microbiologiques.
Demande chimique en oxygène (DCO)	Mesure de la matière susceptible d'être oxydée dans des conditions chimiques fortes, indicateur de la force des eaux usées et de l'efficacité du traitement.
Demande biochimique en oxygène (DBO)	Mesure de la matière susceptible d'être oxydée dans des conditions biologiques précises, indicateur de la force des eaux usées et de l'efficacité du traitement.
Carbone organique total (COT)	Mesure du carbone organique total (réduit), indicateur du degré de dilution des eaux usées et de l'efficacité du traitement.
Azote total Kjeldahl (ATK)	Mesure de l'azote organique total (réduit)
Azote ammoniacal	Mesure de l'azote disponible pour la nitrification
Nitrate + nitrite	Mesure de l'azote oxydé, indicateur de nitrification ou de dénitrification

Débit journalier moyen mesuré	Obtenu auprès de l'UTEU; il indique la taille du système et confirme les conditions de temps sec ou l'influence des orages
--------------------------------------	--

Sommaire

Toute étude des constituants des eaux usées nécessite une compréhension approfondie du système de collecte et de traitement, afin de concevoir un processus de collecte d'échantillons qui répondra aux questions de l'étude. Les lieux d'échantillonnage doivent être confirmés en consultation avec les exploitants de l'UTEU et décrits en détail dans tous les rapports et publications. De même, les techniques d'échantillonnage (composite, ponctuel ou passif) doivent être décrites de manière suffisamment détaillée pour être reproductibles. Les échantillons d'eaux usées doivent être entreposés, transportés et manipulés de manière appropriée afin de préserver leur intégrité.

COLLABORATEURS

<i>D^r Chand Mangat</i>	<i>Agence de la santé publique du Canada</i>
<i>D^r Michael Mulvey</i>	<i>Université du Manitoba</i>
<i>D^r James Brooks</i>	<i>Agence de la santé publique du Canada</i>
<i>Cheryl Marinsky</i>	<i>Agence de la santé publique du Canada</i>
<i>D^r Aboubakar Mounchili</i>	<i>Agence de la santé publique du Canada</i>
<i>Audra Nagasawa</i>	<i>Statistique Canada</i>
<i>Shirley Anne Smyth</i>	<i>Environnement et Changement climatique Canada</i>
<i>Alexandra Auyeung</i>	<i>Environnement et Changement climatique Canada</i>
<i>D^{re} Heather Hannah</i>	<i>Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest</i>
<i>Justin Hazenburg</i>	<i>Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest</i>
<i>D^{re} Melissa Glier</i>	<i>Centre de contrôle des maladies de la Colombie-Britannique</i>
<i>Brian J. Beech</i>	<i>Programme de santé au travail de la fonction publique de Santé Canada</i>
<i>Mark Rochon</i>	<i>Programme de santé au travail de la fonction publique de Santé Canada</i>

RÉFÉRENCES

1. Song Y, Liu P, Shi XL, *et al.* SARS-CoV-2 induced diarrhoea as onset symptom in patient with COVID-19. *Gut*. 2020;69(6):1143-1144. doi:10.1136/gutjnl-2020-320891
2. Pan Y, Zhang D, Yang P, Poon LLM et Wang Q. Viral load of SARS-CoV-2 in clinical samples. *The Lancet Infectious Diseases*. 2020;20(4):411-412. doi:10.1016/S1473-3099(20)30113-4
3. Petterson S. What do we know about COVID-19 and sewage? Water Source. Publié le 14 avril 2020. <https://watersource.awa.asn.au/community/public-health/what-do-we-know-about-covid-19-and-sewage/>
4. Tang A, Tong Z, Wang H, *et al.* Detection of Novel Coronavirus by RT-PCR in Stool Specimen from Asymptomatic Child, China. *Emerging Infectious Diseases*. 2020;26(6). doi:10.3201/eid2606.200301
5. Wang C, Horby PW, Hayden FG et Gao GF. A novel coronavirus outbreak of global health concern. *The Lancet*. 2020;395(10223):470-473. doi:10.1016/S0140-6736(20)30185-9
6. Wang D, Hu B, Hu C, *et al.* Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus–Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*. 2020;323(11):1061-1069. doi:10.1001/jama.2020.1585
7. Chen Y, Wei Q, Li R, *et al.* Protection of Rhesus Macaque from SARS-Coronavirus challenge by recombinant adenovirus vaccine. *bioRxiv preprint*. Publié le 21 février 2020. doi:10.1101/2020.02.17.951939
8. Holshue ML, DeBolt C, Lindquist S, *et al.* First Case of 2019 Novel Coronavirus in the United States. *N Engl J Med*. 2020;382(10):929-936. doi:10.1056/NEJMoa2001191
9. Xiao F, Tang M, Zheng X, Liu Y, Li X et Shan H. Evidence for Gastrointestinal Infection of SARS-CoV-2. *Gastroenterology*. 2020;158(6):1831-1833. doi:10.1053/j.gastro.2020.02.055
10. Xiao Y, Shao X-T, Tan D-Q, *et al.* Assessing the trend of diabetes mellitus by analyzing metformin as a biomarker in wastewater. *Sci Total Environ*. 2019;688:281-287. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.117
11. Ye Y, Ellenberg RM, Graham KE et Wigginton KR. Survivability, Partitioning, and Recovery of Enveloped Viruses in Untreated Municipal Wastewater. *Environ Sci Technol*. 2016;50(10):5077-5085. doi:10.1021/acs.est.6b00876
12. Zhang W, Du R-H, Li B, *et al.* Molecular and serological investigation of 2019-nCoV infected patients: implication of multiple shedding routes. *Emerging Microbes & Infections*. 2020;9(1):386-389. doi:10.1080/22221751.2020.1729071
13. Zhang J, Wang S et Xue Y. Fecal specimen diagnosis 2019 novel coronavirus–infected pneumonia. *Journal of Medical Virology*. 2020;92(6):680-682. doi:10.1002/jmv.25742

14. Wang W, Xu Y, Gao R, *et al.* Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens. *JAMA*. 2020;323(18):1843-1844. doi:10.1001/jama.2020.3786
15. Wölfel R, Corman VM, Guggemos W, *et al.* Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. *Nature*. 2020;581(7809):465-469. doi:10.1038/s41586-020-2196-x
16. Wu F, Xiao A, Zhang J, *et al.* SARS-CoV-2 titers in wastewater foreshadow dynamics and clinical presentation of new COVID-19 cases. *medRxiv preprint*. Publié le 6 juillet 2020. doi:10.1101/2020.06.15.20117747
17. Vallejo JA, Rumbo-Feal S, Conde-Pérez K, *et al.* Predicting the number of people infected with SARS-COV-2 in a population using statistical models based on wastewater viral load. *medRxiv preprint*. Publié en ligne le 16 novembre 2020, 42.
18. Wurtzer S, Marechal V, Mouchel J, *et al.* Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. *medRxiv preprint*. Publié en ligne le 6 mai 2020. doi:10.1101/2020.04.12.20062679
19. Kaplan EH, Wang D, Wang M, Malik AA, Zulli A et Peccia J. Aligning SARS-CoV-2 indicators via an epidemic model: application to hospital admissions and RNA detection in sewage sludge. *Health Care Management Science*. 2020;24:320-329. doi:https://doi.org/10.1007/s10729-020-09525-1
20. Daughton CG. Wastewater surveillance for population-wide Covid-19: The present and future. *Sci Total Environ*. 2020;736:1-9. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139631
21. Thompson JR, Nancharaiyah YV, Gu X, *et al.* Making waves: Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 for population-based health management. *Water Res*. 2020;184:1-7. doi:10.1016/j.watres.2020.116181
22. Yeager RA, Holm RH, Saurabh K, *et al.* Wastewater sample site selection to estimate geographically-resolved community prevalence of COVID-19: A research protocol. *medRxiv preprint*. Publié le 25 août 2020. doi:10.1101/2020.08.23.20180224
23. Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, *et al.* SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Science of The Total Environment*. 2020;739:1-19. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139076
24. D'Aoust PM, Mercier E, Montpetit D, *et al.* Quantitative analysis of SARS-CoV-2 RNA from wastewater solids in communities with low COVID-19 incidence and prevalence. *medRxiv preprint*. Publié le 14 août 2020, 40.
25. Hill K, Zamyadi A, Deere D, Vanrolleghem PA et Crosbie ND. SARS-CoV-2 known and unknowns, implications for the water sector and wastewater-based epidemiology to support national responses worldwide: early review of global experiences with the COVID-19 pandemic. *Water Quality Research Journal*. 2021;56(2):57-67. doi:10.2166/wqrj.2020.100

26. Michael-Kordatou I, Karaolia P et Fatta-Kassinos D. Sewage analysis as a tool for the COVID-19 pandemic response and management: the urgent need for optimised protocols for SARS-CoV-2 detection and quantification. *J Environ Chem Eng.* 2020;8(5):1-24. doi:10.1016/j.jece.2020.104306
27. Nghiem LD, Morgan B, Donner E et Short MD. The COVID-19 pandemic: Considerations for the waste and wastewater services sector. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering.* 2020;1:1-5. doi:10.1016/j.cscee.2020.100006
28. Amoah ID, Kumari S et Bux F. Coronaviruses in wastewater processes: Source, fate and potential risks. *Environ Int.* 2020;143:1-12. doi:10.1016/j.envint.2020.105962
29. Hata A, Hara-Yamamura H, Meuchi Y, Imai S et Honda R. Detection of SARS-CoV-2 in wastewater in Japan during a COVID-19 outbreak. *Science of The Total Environment.* 2021;758:1-9. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143578
30. Collivignarelli MC, Collivignarelli C, Carnevale Miino M, Abbà A, Pedrazzani R et Bertanza G. SARS-CoV-2 in sewer systems and connected facilities. *Process Saf Environ Prot.* 2020;143:196-203. doi:10.1016/j.psep.2020.06.049
31. Orive G, Lertxundi U et Barcelo D. Early SARS-CoV-2 outbreak detection by sewage-based epidemiology. *Sci Total Environ.* 2020;732:1-2. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139298
32. Daughton C. The international imperative to rapidly and inexpensively monitor community-wide Covid-19 infection status and trends. *Sci Total Environ.* 2020;726. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138149
33. Guidance for Reducing Health Risks to Workers Handling Human Waste or Sewage | Global Water, Sanitation and Hygiene | Healthy Water | CDC. Publié le 9 novembre 2018. https://www.cdc.gov/healthywater/global/sanitation/workers_handlingwaste.html
34. Enfinger KL et Mitchell PS. Sewer Sociology - San Diego Metropolitan Area. In: *Pipelines 2009*. American Society of Civil Engineers; 2009:292-306. doi:10.1061/41069(360)28
35. Ort C, Lawrence MG, Reungoat J et Mueller JF. Sampling for PPCPs in wastewater systems: comparison of different sampling modes and optimization strategies. *Environ Sci Technol.* 2010;44(16):6289-6296. doi:10.1021/es100778d
36. Ahmed W, Bivins A, Bertsch PM, et al. Surveillance of SARS-CoV-2 RNA in wastewater: Methods optimisation and quality control are crucial for generating reliable public health information. *Curr Opin Environ Sci Health.* Publié le 30 septembre 2020. doi:10.1016/j.coesh.2020.09.003
37. Ort C, Lawrence MG, Rieckermann J et Joss A. Sampling for Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) and Illicit Drugs in Wastewater Systems: Are Your Conclusions Valid? A Critical Review. *Environ Sci Technol.* 2010;44(16):6024-6035. doi:10.1021/es100779n

38. New Sigma Brand All-Weather Refrigerated Sampler Cabinet From Hach Stands Up To Extreme Environments. <https://www.wateronline.com/doc/new-sigma-brand-all-weather-refrigerated-0001> (consulté le 6 octobre 2021).
39. Teledyne Isco samplers. <https://www.wtlireland.com/environmental-products-services/equipment-products/teledyne-isco-samplers> (consulté le 6 octobre 2021).
40. Hayes EK, Sweeney CL, Anderson LE, *et al.* A novel passive sampling approach for SARS-CoV-2 in wastewater in a Canadian province with low prevalence of COVID-19. *Environ Sci: Water Res Technol.* 2021;7(9):1576-1586. doi:10.1039/D1EW00207D
41. Corchis-Scott R, Qiudi Geng, Rajesh Seth, *et al.* Averting an outbreak of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in a university residence hall through wastewater surveillance. *medRxiv preprint*. Publié le 25 juin 2021, 38.
42. Weidhaas J, Aanderud ZT, Roper DK, *et al.* Correlation of SARS-CoV-2 RNA in wastewater with COVID-19 disease burden in sewersheds. *Sci Total Environ.* 2021;775:1-12. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145790
43. Bhattarai B, Sahulka SQ, Podder A, *et al.* Prevalence of SARS-CoV-2 genes in water reclamation facilities: From influent to anaerobic digester. *Sci Total Environ.* 2021;796:148905. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148905
44. Ahmed W, Bertsch PM, Angel N, *et al.* Detection of SARS-CoV-2 RNA in commercial passenger aircraft and cruise ship wastewater: a surveillance tool for assessing the presence of COVID-19 infected travellers. *J Travel Med.* 2020;27(5):taaa116. doi:10.1093/jtm/taaa116
45. Israeli scientists pinpoint COVID-19 outbreaks in sewer surveillance pilot project. WaterWorld. Publié le 30 juillet 2020. <https://www.waterworld.com/wastewater/article/14180726/israeli-scientists-pinpoint-covid19-outbreaks-in-city-sewer-surveillance-pilot-project>
46. Betancourt WQ, Schmitz BW, Innes GK, *et al.* COVID-19 containment on a college campus via wastewater-based epidemiology, targeted clinical testing and an intervention. *Science of The Total Environment.* 2021;779:1-7. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146408
47. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF). <https://www.standardmethods.org/>