

# Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique

## 2. Scénarios et démarche de conception – Préliminaire

---

### **Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction des eaux usées municipales (DEUM) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

### **Renseignements**

Téléphone : 418 521-3830  
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : [www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/reenseignements.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/reenseignements.asp)  
Internet : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

### **Pour obtenir un exemplaire du document :**

Visitez notre site Web : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

Dépôt légal – 2023  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec - 2023

# Table des matières

<b>Liste des tableaux</b>	<b>2-iv</b>
<b>Remerciements</b>	<b>2-v</b>
<b>2. Scénarios et démarche de conception</b>	<b>2-1</b>
<b>2.1 Étapes de conception</b>	<b>2-1</b>
2.1.1 Étude conceptuelle	2-2
2.1.2 Conception préliminaire	2-2
2.1.3 Conception détaillée (plans et devis)	2-3
<b>2.2 État des lieux</b>	<b>2-4</b>
<b>2.3 Identification de la problématique et des besoins</b>	<b>2-5</b>
<b>2.4 Recherche de solutions</b>	<b>2-6</b>
<b>2.5 Estimation</b>	<b>2-7</b>
<b>2.6 Outils d'aide à la conception</b>	<b>2-8</b>
2.6.1 Analyse de fiabilité	2-8
2.6.2 Bilan de masse	2-11
2.6.3 Modélisation	2-12
2.6.4 Conception 3D et application du concept MIB	2-13
<b>2.7 Considérations émergentes au sujet de l'exploitation d'une station d'épuration</b>	<b>2-14</b>
2.7.1 Émissions de GES	2-14
2.7.2 Réutilisation des eaux usées	2-16
<b>2.8 Références bibliographiques</b>	<b>2-17</b>

## Liste des tableaux

Tableau 2.6.1-1 – Exemples d’analyse de fiabilité en cas de défaillance d’équipements \_\_\_\_\_ 2-9

Tableau 2.7.1-1 – Potentiel de réchauffement climatique des GES \_\_\_\_\_ 2-14

Tableau 2.7.1-2 – Sources négligeables de GES \_\_\_\_\_ 2-15

PRÉLIMINAIRE

## Remerciements

### **Équipe de rédaction de FNX-INNOV**

Marc-André Desjardins, ing., Ph. D. – chargé de projet

Justine Duguet, ing., M. Sc. A. – chargée de projet adjointe et coordonnatrice

Et les autres ingénieurs du Service de traitement des eaux de FNX-INNOV.

### **Équipe de révision du MELCCFP**

Héloïse Bastien, ing., M. Sc. A. – DEUM – chargée de projet

Bernard Lavallée, ing., Ph. D. – DEUM

Bernard Patry, ing., Ph. D. – DPEU

### **Experts consultés (par ordre alphabétique de nom de famille)**

Marie-Christine Bélanger et les autres membres de l'équipe de Premier Tech

Yves Comeau, ing., Ph. D. – Polytechnique Montréal

Élaine Guénette – APSAM

Alain Roy, ing., M. Ing., et Dorothée Benoit, ing. – MAMH

PRÉLIMINAIRE

## 2. SCÉNARIOS ET DÉMARCHE DE CONCEPTION

Le présent chapitre a pour but d'orienter le concepteur dans sa recherche de solutions de traitement et sa démarche de conception. Il en présente les grandes lignes courantes, en plus de décrire certains outils et considérations émergentes pouvant être pris en compte pour valider ses recommandations technologiques et orienter sa conception de façon générale.

### 2.1 Étapes de conception

La conception de tout projet d'ingénierie comprend généralement les trois étapes suivantes (Davis, 2010) :

- l'étude conceptuelle;
- la conception préliminaire;
- la conception détaillée (étape des plans et devis).

Chacune de ces étapes constitue un jalon important de la prise de décision rationnelle pour le client. Elle devrait donc contenir suffisamment d'informations sur chaque scénario étudié, tant en ce qui a trait aux options recommandées par le concepteur qu'à celles non recommandées (Davis, 2010).

Le processus de conception est itératif. Au début d'une nouvelle étape, il est utile de réévaluer ou de valider les présomptions et hypothèses formulées aux étapes précédentes. La compatibilité et l'intégration des équipements ou procédés devraient notamment être vérifiées (Davis, 2010).

Quant aux facteurs à prendre en compte lors de la conception d'une installation de traitement d'eaux usées, qu'il s'agisse d'une nouvelle installation ou encore de la mise à niveau, ou aux normes, d'une installation existante, mentionnons les suivants :

- Les caractéristiques des eaux usées à traiter (c.-à-d. les débits et charges, voir chapitre 3).
- Les normes de rejet anticipées en fonction de la technologie choisie et des objectifs environnementaux de rejet (voir [Guide pour l'établissement des normes de rejet](#)).
- Les contraintes du site (limites de propriété et usages des terrains voisins, topographie, conditions du sol, raccordements aux services publics, accessibilité routière, arrivée des eaux usées, émissaire vers le milieu récepteur ou infiltration dans le sol, etc.).
- Les normes de santé et de sécurité à respecter.
- La fiabilité du système (voir section 2.6.1).
- La durée de vie des équipements.
- Les coûts de construction et d'exploitation (voir section 0).

Les normes de rejet portent sur les concentrations et les charges moyennes maximales autorisées à l'effluent ainsi que sur les rendements de traitement minimaux. Le traitement doit permettre de satisfaire aux normes durant les périodes où elles s'appliquent. Compter sur les phénomènes de dilution susceptibles de survenir dans les réseaux d'égouts (p. ex. lors de la période de fonte des neiges) n'est pas une démarche de conception adéquate et ne permet pas de respecter les normes de rendement. D'une façon générale, les concentrations visées à l'effluent devraient tenir compte d'un facteur de sécurité par rapport aux normes applicables. En pratique, il est courant de cibler des concentrations représentant les deux tiers (soit 66 %) de la valeur de la norme.

Toute étape de conception requiert la participation plus ou moins importante des fournisseurs de technologies et d'équipements. En effet, beaucoup de détails de conception dépendent des dimensions

des équipements, de leurs contraintes d'installation et de leurs critères de fonctionnement (Qasim et Zhu, 2018a).

### **2.1.1 Étude conceptuelle**

L'étude conceptuelle (parfois appelée étude de faisabilité) a pour objet de définir les conditions de conception et d'examiner différents scénarios de traitement (Davis, 2010). Une analyse comparative est réalisée pour exposer les avantages et inconvénients de chaque procédé étudié. La faisabilité de chacun des scénarios devrait être validée en regard des éléments suivants :

- La possibilité d'installer les procédés sur le site malgré les contraintes inhérentes.
- L'atteinte des performances.
- La facilité d'intégrer des procédés supplémentaires aux filières liquides et solides existantes et les conséquences de ces ajouts, le cas échéant.

L'étude conceptuelle permet de déterminer le ou les scénarios les plus prometteurs et d'éliminer certains scénarios non viables. L'estimation des coûts réalisée à cette étape donne un ordre de grandeur des montants de construction à prévoir mais reste très préliminaire.

L'étude conceptuelle consiste de plus à élaborer des plans de localisation des nouveaux procédés pour chaque scénario. Il est préférable de prévoir un agencement compact et modulaire (Qasim et Zhu, 2018a). Les espaces requis pour des ouvrages futurs peuvent être indiqués sur ces plans.

De même, chaque scénario est assorti d'un schéma d'ensemble des procédés, aussi appelé schéma d'écoulement ou schéma de procédé. Il présente de façon simplifiée et sommaire la succession d'équipements (existants et nouveaux) au travers desquels s'écouleront les eaux usées.

### **2.1.2 Conception préliminaire**

Si plusieurs scénarios de traitement sont retenus après l'étape d'étude conceptuelle, ils sont comparés de façon rigoureuse lors de la conception préliminaire jusqu'à ce que l'un d'entre eux soit sélectionné. Sinon, seul le scénario retenu précédemment fait l'objet de la conception préliminaire. La conception des procédés majeurs est finalisée lors de cette étape (Davis, 2010) et décrite dans un rapport d'ingénierie.

À l'étape de la conception préliminaire, le niveau de complexité de l'installation est défini de concert avec le client en fonction des paramètres suivants (Davis, 2010) :

- La complexité de l'exploitation des procédés envisagés.
- Les degrés d'automatisation requis par les procédés et souhaités par le client.
- L'envergure des tâches d'entretien.
- Le nombre d'opérateurs nécessaires pour exploiter les systèmes.
- La qualification requise du personnel.

On prépare alors un schéma de procédé et d'instrumentation (schéma P et I) préliminaire, généralement à partir du schéma d'écoulement produit lors de l'étude conceptuelle. Il représente la configuration principale des procédés et des systèmes de contrôle. Il permet donc de voir l'agencement des ouvrages et équipements (existants et nouveaux) projetés et de déterminer les principaux instruments de contrôle à installer (débitmètre, flotte de niveau, sonde d'oxygène dissous, sonde de pH, etc.). Les principaux équipements motorisés (pompes, surpresseurs, etc.) ainsi que les équipements d'aération dans les bassins peuvent également être représentés sur ce schéma P et I.

Au terme de la conception préliminaire, le niveau d'avancement des plans de procédé est généralement autour de 25 à 30 %. L'estimation des coûts est plus précise qu'à l'étape de l'étude conceptuelle mais demeure de nature préliminaire.

### **2.1.3 Conception détaillée (plans et devis)**

Après l'étude conceptuelle et l'étape de conception préliminaire, la conception détaillée peut s'amorcer avec la préparation des plans et devis.

À cette étape, on finalise la conception de la mécanique de procédé et l'on prend en charge les autres disciplines qui interviennent dans le projet le cas échéant (génie civil, mécanique du bâtiment, électricité, structure, architecture, etc.). On développe les aspects laissés de côté ou effleurés lors de l'étude conceptuelle et de la conception préliminaire. La coordination entre les diverses disciplines est cruciale à cette étape. En général, la préparation des plans et devis est jalonnée par la revue de leur avancement, réalisée à 30 % (plans préliminaires), à 60 % et à 90 % par le client. Ces jalons permettent d'expliquer et de valider auprès du client les décisions techniques, le choix des équipements, les aménagements ou agencements, etc. La révision des plans et devis par les opérateurs des installations existantes est susceptible d'offrir un point de vue différent de celui du concepteur et permet de confronter les aménagements proposés aux réalités quotidiennes pour une exploitation sécuritaire et fonctionnelle. Ainsi, l'élimination des dangers à la source et l'intégration des éléments de sécurité dès la conception permettront d'appliquer facilement et rapidement des procédures de travail sécuritaires pour toutes les tâches à effectuer. À ce sujet, le concepteur est invité à se référer au chapitre 18, section 18.6 – *Santé et sécurité*.

La planification des travaux devrait être examinée lors de la préparation des plans et devis. En effet, dans le cadre de la réfection ou de l'agrandissement d'une station d'épuration, certaines tâches requerront sans doute la mise hors service d'équipements et des dérivations d'étapes de traitement. Ces dérivations causeront des déversements d'eaux usées partiellement traitées ou le rejet d'un effluent moins épuré que ce qu'exigent les normes de rejet. De tels déversements doivent être planifiés avec le MELCCFP et ne peuvent se faire à n'importe quel moment de l'année (voir la fiche d'information sur la [Démarche à suivre lors de travaux effectués sur un OMAEU avec déversements des eaux usées](#)). Dans le contexte de petites installations, l'envoi des eaux usées vers une autre station d'épuration peut aider à éviter les déversements. Cela a toutefois un coût (transport et frais de disposition) qui devrait être pris en compte et inscrit au bordereau de soumission des plans et devis. Les conditions hivernales présentent également une contrainte et limitent la plage de temps disponible pour réaliser certains travaux extérieurs.



## 2.2 État des lieux

Dans le cas d'une station d'épuration existante, il est recommandé de commencer toute étude par un « état des lieux ». Il faut premièrement repérer et localiser les ouvrages de surverse, les ouvrages de dérivation ainsi que l'émissaire. Outre les informations sur la performance des systèmes en place, il est important de connaître l'état des équipements, des ouvrages et des conduites installés. Le concepteur devrait, entre autres, visiter les installations et consulter les plans (tels que construits ou autres), les données de conception antérieures (accessibles notamment dans le rapport d'ingénieur accompagnant la demande d'autorisation ou dans la *Description des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* le cas échéant) et les fiches techniques des équipements. En plus de renseigner sur la capacité des équipements ou ouvrages en place, l'état des lieux permet au concepteur de déterminer les contraintes physiques du site, les interconnexions des ouvrages de traitement ou encore l'âge des équipements et de leurs composants.

Des relevés détaillés (incluant au besoin des numérisations 3D) et des inspections plus poussées pourraient être requis pour vérifier ou terminer les plans des ouvrages existants, valider les élévations de niveau, les caractéristiques du sol, la direction des vents, l'état structural des ouvrages en béton, l'état physique des équipements submergés ou enfouis, etc.

Dans le cas d'un projet de construction d'une nouvelle station d'épuration, une visite du site ou des sites retenus est également pertinente. Elle permet de constater l'état de la rive et du cours d'eau où sera installé l'émissaire ou les ouvrages de surverse, d'évaluer les caractéristiques du ou des terrains (topographie, proximité du voisinage, accessibilité, etc.) et de procéder aux inventaires floristiques et fauniques. Divers relevés seront requis.

PRÉLIMINAIRE

## 2.3 Identification de la problématique et des besoins

Dans le cas d'une station d'épuration existante, l'identification des problématiques passe tout d'abord par des discussions avec les opérateurs qui sont une grande source d'informations. Cette démarche permet d'orienter le concepteur sur des problèmes avérés ainsi que sur certains besoins afin de simplifier, de faciliter ou de sécuriser les tâches d'exploitation (voir chapitre 18, section 18.6 pour les aspects concernant la santé et la sécurité). La vérification de l'état des infrastructures et l'analyse des données de suivi disponibles (intrants et extrants) permettent ensuite de constater les performances de l'ensemble de la filière liquide, voire de chacune des étapes de traitement selon l'envergure du suivi réalisé, ainsi que de la filière solide le cas échéant. Cette étape a pour but d'établir un diagnostic quant à la performance des équipements. Des campagnes complémentaires de caractérisation et de mesure de débits peuvent être commandées par le concepteur pour enrichir les données disponibles.

Pour tous les projets, que ce soit la construction d'une nouvelle station d'épuration ou encore la réfection ou l'agrandissement d'une station existante, le client devrait fournir des données de base au concepteur pour établir les débits et charges futurs (voir chapitre 3). Toute la conception est fondée sur ceux-ci. Bien évidemment, dans le cas d'une station d'épuration existante, ils déterminent si les équipements actuels ont une capacité suffisante pour les horizons projetés. Il est recommandé d'employer une méthodologie similaire à celle suggérée dans la [Démarche d'évaluation de la capacité de traitement résiduelle d'une station d'épuration de type étangs aérés facultatifs dépassant ses critères de conception](#) pour évaluer la capacité des équipements, quel que soit le type de station. Par ailleurs, les débits futurs serviront à fixer en partie les normes de rejet qui devront être respectées<sup>1</sup>, mais aussi les exigences de suivi<sup>2,3</sup> dont la fréquence de prélèvement d'échantillons à l'affluent et à l'effluent ainsi que les paramètres à analyser.

---

<sup>1</sup> Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (2020). *Guide pour l'établissement des normes de rejet d'une installation de traitement des eaux usées d'origine domestique*, [En ligne].

[www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/art32/Etablissementnormes-rejet-station-epuration.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/art32/Etablissementnormes-rejet-station-epuration.pdf)  
(Consulté le 24 janvier 2021)

<sup>2</sup> Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2015). *Suivi d'exploitation des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées – Station d'épuration et ouvrages de surverse*, [En ligne].

[http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/programme\\_suivi\\_omae.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/programme_suivi_omae.pdf)  
(Consulté le 24 janvier 2021)

<sup>3</sup> Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (2023). *Suivi environnemental des installations de traitement des eaux usées d'origine domestique*, [En ligne].

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domest-communautaire-municipal/suivi-installations-traitements-eaux-domestique.pdf>  
(Consulté le 20 décembre 2023)

## 2.4 Recherche de solutions

### Procédés de traitement

L'identification des solutions de traitement devrait, en premier lieu, se baser sur le diagnostic établi dans les étapes de conception précédentes. En matière de traitement des eaux usées, la recherche de solutions passe par la consultation des guides et ouvrages de référence dans le domaine. L'expertise et l'expérience du concepteur sont aussi essentielles. Le présent guide aborde dans les chapitres subséquents les technologies considérées comme « conventionnelles » par le MELCCFP. Les technologies classées dans une fiche d'information technique produite par le CTTEU ou celles certifiées NQ 3680-910 et 3680-600 peuvent aussi être considérées comme des options valables dans le choix du système de traitement<sup>4</sup>. Lorsqu'un projet fait appel à une technologie non classée, il faut fournir des pièces justificatives qui démontrent le devenir des contaminants dans la chaîne de traitement (rapport d'ingénierie et suivi d'essais pilotes conformes à la [Procédure de validation de la performance des technologies de traitement des eaux usées d'origine domestique](#)).

### Alternatives au traitement

Dans le cadre d'installations de traitement des eaux usées qui n'auraient pas la capacité de recevoir les débits et charges futurs estimés, on peut envisager des alternatives autres que des travaux d'augmentation de capacité. En effet, les options de réduction à la source constituent, dans certains cas, des avenues raisonnables qui visent à limiter les débits et charges acheminés au traitement. La mise en place ou le resserrement de la réglementation relative aux rejets à l'égout ou d'ententes avec les industries servies en font partie.

La réhabilitation des réseaux d'égouts ainsi que la séparation des réseaux d'égouts unitaires, entre autres, permettent de limiter les débits d'infiltration et de captage<sup>5</sup>. Il faut toutefois souligner que les charges n'en sont pas pour autant diminuées. En ce qui a trait aux concentrations des divers paramètres analysés (DBO<sub>5</sub>C, MES, etc.), celles-ci devraient logiquement augmenter à la suite de la réduction des apports en eaux parasites.

---

<sup>4</sup> Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (2022). *AM190b Établissement, modification ou extension de systèmes d'égout (traitement)*, 26 p., [En ligne].

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/autorisations/autorisation-ministerielle/am190a-systemes-egout-reseau.docx>  
(Consulté le 20 décembre 2023)

<sup>5</sup> Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (2023). *Guide de gestion des débordements et des dérivations d'eaux usées : Tome III – Mesures de gestion des débordements et des dérivations*, Québec, 240 p., [En ligne].

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/debordements/guide/guide-gestion-debordements-tome3.pdf>  
(Consulté le 20 décembre 2023)

## 2.5 Estimation

Les estimations de coûts sont importantes, car elles orientent le choix du scénario et des équipements. Deux types sont distingués :

- les **coûts d'immobilisation (CAPEX)** qui constituent les coûts des travaux (incluant le terrassement, l'excavation et le remblayage, la fourniture des équipements, les raccordements électriques, les conduites de génie civil, la main-d'œuvre, la mobilisation ou démobilisation, etc.);
- les **coûts d'exploitation (OPEX)** qui comprennent les frais annuels d'achat de produits chimiques, d'électricité, de salaire des opérateurs, de vidange, de disposition des boues, des pièces de rechange, de remplacement périodique de composants de courte durée de vie relativement à l'ensemble de la station (p. ex. membrane de diffuseurs), etc.

### Degré de précision des estimations

Le degré d'effort et d'attention porté aux estimations dépend de l'état d'avancement de la conception. Plus la conception progresse et se raffine, plus les estimations sont précises puisqu'elles sont basées sur de meilleures informations (Davis, 2010). L'Association for the Advancement of Cost Estimating (AACE, 2005) définit plusieurs classes d'estimation selon l'état d'avancement de la conception, dont la précision oscille :

- entre -30 % et +50 % pour l'étude conceptuelle;
- entre -20 % et +30 % pour la conception préliminaire;
- entre -10 % et +15 % pour la conception détaillée lorsque les plans et devis sont achevés.

### Analyse économique

Pour bien comparer les scénarios, il est nécessaire de déterminer aussi bien les OPEX que les CAPEX dans une démarche d'évaluation du coût total de possession (*total cost of ownership*). En effet, certaines technologies sont plus chères à l'achat mais entraînent moins de dépenses d'exploitation (p. ex. économie d'énergie). Le calcul du rendement du capital investi devient alors important, car il permet de statuer sur l'avantage économique d'investir davantage dans un équipement.

Des ouvrages de référence tels ceux de Newnan et collab. (2018) et Molinos-Senante et collab. (2015) expliquent les techniques avancées d'analyse économique, dont l'analyse de coût-avantage par exemple.

## 2.6 Outils d'aide à la conception

### 2.6.1 Analyse de fiabilité

La fiabilité d'un procédé se définit comme la probabilité de satisfaire ses critères de performance sur une longue période (Qasim et Zhu, 2018a). Ce laps de temps tient compte des pointes hydrauliques et massiques, des risques d'inondation, de panne de courant et de défaillance d'équipement ainsi que des arrêts programmés d'entretien (MOE, 2008). La fiabilité du procédé repose, entre autres, sur la robustesse et la qualité des équipements installés, l'état de développement de la technologie ainsi que la redondance des unités.

Le but de l'analyse de fiabilité est d'assurer la protection de l'environnement dans lequel l'effluent traité est rejeté, d'éviter les refoulements, de limiter les débordements et dérivations, ainsi que d'assurer la santé et sécurité des travailleurs. La défaillance de n'importe quel équipement ou composant, incluant les arrêts temporaires pour entretien, ne devrait pas empêcher l'atteinte des normes de rejet durant l'exploitation aux débits de conception, soit du débit minimal au débit maximal (MOE, 2008). Pour effectuer l'analyse de fiabilité, le concepteur devrait (MOE, 2008) :

- déterminer les procédés, les unités ou les équipements critiques pour l'atteinte des performances;
- évaluer les événements critiques, leur durée potentielle et leur probabilité d'occurrence;
- comparer la qualité d'effluent obtenue lors d'un événement critique avec les normes de rejet;
- s'assurer que les ouvrages prévus ainsi que les méthodes retenues pour assurer la fiabilité du système permettent de réduire voire d'éliminer les risques de baisse de performance, de contournement et de surverses ainsi que les risques liés à la sécurité des travailleurs.

Le Tableau 2.6.1-1 présente des exemples d'analyse de fiabilité à différentes étapes du traitement en cas de défaillance d'équipement. L'analyse de fiabilité est spécifique aux particularités de la chaîne d'équipements installés et devrait être effectuée au cas par cas. En fonction des conditions de conception retenues pour chaque étape du traitement (redondance, capacité hydraulique, etc.), le concepteur devrait pouvoir estimer 1) le nombre potentiel de dérivations annuel ainsi que leurs durée, volume et charges et 2) la qualité de l'effluent rejeté lors des défaillances. La simple dérivation des eaux usées en cas de défaillance d'un équipement n'apparaît plus comme une solution acceptable du point de vue environnemental. L'analyse de fiabilité vise justement à minimiser les risques environnementaux associés aux rejets d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement. Il demeure que la mise en balance du risque environnemental et des conséquences sociales et économiques devrait être effectuée dans l'analyse du projet. Lorsque les dérivations se révèlent inévitables compte tenu de la mise en balance des risques, il est préférable de prendre des mesures d'atténuation permettant de continuer à traiter les eaux usées tout en conservant le plus possible les performances de traitement. À noter que l'exploitant devra aviser le MELCCFP pour chaque défaillance d'équipement ayant un impact sur la qualité des rejets ou sur la fréquence ou le volume des dérivations (article 15, 2° du ROMAEU). Il est donc important de les prévoir lors de la conception.

La redondance recommandée pour chaque procédé est abordée dans les chapitres correspondants du présent guide. En règle générale, la redondance des équipements mécaniques tels que les pompes et les surpresseurs consiste en un équipement en attente présentant la même capacité que la plus grosse unité en service. Pour les ouvrages de type bassin, comme les décanteurs, les bassins d'aération et les canaux de désinfection, la redondance ne se matérialise pas par une unité en attente, mais elle s'intègre à leur conception. Les unités devraient être capables d'accepter hydrauliquement le débit maximal malgré l'arrêt d'une unité (WEF et ASCE, 2018). Ainsi, la division de la filière de traitement ou de certains ouvrages et équipements en de multiples unités en parallèle est toujours préférable pour assurer un minimum de traitement même si l'une d'entre elles est arrêtée. Par ailleurs, l'installation d'unités de même capacité, de même modèle ou commercialisées par le même fournisseur facilite l'entretien et permet de réduire l'inventaire de pièces de rechange (WEF et ASCE, 2018).

De nombreuses informations complémentaires permettant d'assurer la fiabilité des installations sont fournies dans les différents chapitres du présent guide. Par exemple, la présence de ports de nettoyage sur les conduites de boues ou de produits chimiques permet d'éviter leur colmatage. La présence de vannes d'isolement permet également de réaliser des travaux sur une unité de traitement sans hypothéquer toute la filière.

**Tableau 2.6.1-1 – Exemples d'analyse de fiabilité en cas de défaillance d'équipements**  
(Adapté de MOE, 2008)

Procédé	Type de défaillance	Durée de la défaillance	Fréquence d'apparition de la défaillance	Effet(s) potentiel(s) de la défaillance	Méthode(s) recommandée(s) pour assurer la fiabilité durant l'évènement	Impact de la mesure sur la défaillance
Pompage d'entrée	Entretien	Jours	Une fois par an	Dérivation ou eaux non traitées	Une pompe en redondance présentant la même capacité que la plus grosse pompe de l'unité	Évitement
	Panne	Semaines	Une fois par cinq ans			
Pompe doseuse de produit chimique	Entretien	Jours	Une fois par trois mois	Dégradation de la qualité de l'effluent ( $P_{tot}$ )	Une pompe en redondance présentant la même capacité que la plus grosse pompe de l'unité	Évitement
	Panne	Semaines	Une fois par trois ans			
Prétraitement	Entretien	Jours	Une fois par an	Dérivation/ eaux non traitées	Une unité en redondance ou contournements	Évitement ou atténuation : risque de défaillance aval et dégradation légère de la qualité de l'effluent
	Panne	Semaines	Une fois tous les cinq ans			
Décanteur primaire	Entretien	Semaines	Une fois par an	Dérivation ou eaux prétraitées	Conception pour traiter les charges moyennes et accepter le débit maximal avec une unité en moins	Atténuation : surcharge massique et dégradation légère de la qualité de l'effluent
	Panne	Semaines	Une fois tous les cinq ans			
Traitement biologique secondaire mécanisé	Entretien	Jours	Une fois par an	Dérivation ou dégradation notable de la qualité de l'effluent (MES, $DBO_5$ , AAT, $P_{tot}$ )	Conception pour traiter les charges moyennes, contournements	Atténuation : dégradation de la qualité de l'effluent ( $DBO_5$ , AAT)
	Panne	Semaines	Une fois tous les cinq ans			

\* La perte de performance devrait être estimée par calcul ou modélisation.

**Tableau 2.6.1-1 – Exemples d'analyse de fiabilité en cas de défaillance d'équipements (suite)**

Procédé	Type de défaillance	Durée de la défaillance	Fréquence d'apparition de la défaillance	Effet(s) potentiel(s) de la défaillance	Méthode(s) recommandée(s) pour assurer la fiabilité durant l'évènement	Impact de la mesure sur la défaillance
Aération	Entretien	Jours	Une fois tous les trois mois	Dérivation ou dégradation notable de la qualité de l'effluent (DBO <sub>5</sub> , AAT)	Une soufflante en redondance présentant la même capacité que la plus grosse unité	Évitement
	Panne	Semaines	Une fois tous les trois ans			
Décanteur secondaire	Entretien	Semaines	Une fois par an	Dérivation ou dégradation notable de la qualité de l'effluent (MES, DBO <sub>5</sub> , AAT, P <sub>tot</sub> )	Conception pour traiter les charges moyennes et laisser passer le débit maximal avec une unité en moins	Atténuation : dégradation légère de la qualité de l'effluent (MES, DBO <sub>5</sub> , AAT, P <sub>tot</sub> )
	Panne	Semaines	Une fois tous les cinq ans			
Désinfection UV	Entretien	Jours	Une fois par an	Dégradation notable de la qualité de l'effluent (CF)	Avoir des pièces de rechange sur le site, contournements	Atténuation : dégradation notable de la qualité de l'effluent (CF) plus courte
	Panne	Jours	Une fois tous les cinq ans			
Filière solide	Entretien	Jours ou semaines (selon l'équipement)	Une fois par an	Quantité excessive de boues dans les bassins non prévus à cet effet	Une unité en redondance ou traitement avec une unité en moins	Évitement ou atténuation : faible accumulation de boues
	Panne	Semaines	Une fois tous les cinq ans			

\* La perte de performance devrait être estimée par calcul ou modélisation.

En outre, l'accessibilité des équipements pour des opérations d'entretien et de réparation devrait être prise en compte lors de la conception, notamment pour assurer la sécurité des travailleurs. L'aménagement du bâtiment dans lequel sont installés les équipements devrait permettre leurs démantèlement et remplacement (p. ex. taille des portes, présence de palans, dégagement autour des équipements) (US EPA, 1974).

L'ouvrage *Design Criteria for Mechanical, Electrical, and Fluid Systems and Component Reliability* publié par l'US EPA en 1974 reste un ouvrage de référence très utile pour mener des analyses de fiabilité.

## 2.6.2 Bilan de masse

Le bilan de masse est un outil nécessaire pour démontrer ce qu'il advient, dans la filière de traitement, des contaminants qui sont susceptibles de se retrouver dans l'environnement. Le bilan de masse est aussi un outil très utile pour estimer les débits et charges appliqués aux différentes étapes du traitement. Il permet d'illustrer schématiquement la filière de traitement en représentant les quantités de boues extraites (et leur contenu en MES, DBO<sub>5</sub>, P<sub>tot</sub>, etc.) et la qualité de l'effluent. Il facilite la compréhension générale de la filière de traitement et permet d'établir rapidement les différences majeures entre les différents scénarios de traitement (WEF et ASCE, 2018). Il peut enfin servir de base pour créer la logique de contrôle du procédé et le schéma P et I (WEF et ASCE, 2018).

Le bilan de masse devrait être réalisé pour plusieurs conditions de débit et de charge dont les conditions moyennes, le mois maximum et le jour maximum (WEF et ASCE, 2018). Il faut souligner que les pointes de charge et les pointes hydrauliques surviennent rarement en même temps; il est donc recommandé de les considérer séparément pour éviter un surdimensionnement non justifié des ouvrages et équipements (WEF et ASCE, 2018).

Le bilan de masse devrait porter sur les contaminants faisant l'objet d'une norme de rejet ou sur les composants ayant un effet important sur le contrôle des procédés (WEF et ASCE, 2018). Par ailleurs, il est préférable de réaliser un bilan de masse sur l'ensemble des procédés incluant ceux de la filière des boues pour considérer les débits et charges des retours en tête de traitement (WEF et ASCE, 2018). À noter que le bilan de masse autour des équipements utilisés de façon discontinue, comme de nombreux procédés de traitement des boues, devrait être ajusté pour refléter les vraies quantités reçues pendant les périodes d'exploitation plutôt que des quantités moyennes journalières ou hebdomadaires calculées respectivement sur 24 heures ou 7 jours (WEF et ASCE, 2018).

Le bilan de masse s'effectue généralement autour d'un volume de contrôle englobant un ou plusieurs équipements de procédé. Le volume de contrôle permet de définir les entrées et sorties du composant, de même que les lieux où s'effectue une transformation (utilisation ou conversion). En termes d'équation, le bilan de masse d'un composant se calcule à l'aide de la formule générale suivante :

**Équation 2.01 :** 
$$\text{Accumulation} = \text{Entrée} - \text{Sortie} + \text{Utilisation/Conversion}$$

En considérant le système à l'équilibre, l'accumulation est nulle. Le bilan de masse peut alors s'écrire sous la forme suivante :

**Équation 2.02 :** 
$$\text{Sortie} = \text{Entrée} + \text{Utilisation/Conversion}$$

Le terme « Utilisation/Conversion » est négatif lorsque le composant est consommé (p. ex. consommation de la DBO<sub>5</sub>C dans un réacteur biologique) alors qu'il est positif quand il est généré (p. ex. production de MES par l'ajout d'un coagulant).

Lorsque la station d'épuration comprend une filière solide avec des retours en tête de la filière liquide, le bilan de masse autour de chaque procédé de traitement influence également celui des autres procédés. Un processus itératif est alors requis jusqu'à l'obtention d'un équilibre. Il est considéré que l'équilibre est atteint lorsque la différence des débits et charges des retours en tête entre deux itérations successives est de moins de 5 % (Metcalf & Eddy – AECOM, 2014).

Habituellement, les résultats du bilan de masse sous différentes conditions sont présentés dans un schéma du procédé. Ce dernier illustre chacun des équipements de procédé constituant la filière de traitement, incluant l'affluent et l'effluent. Ce schéma est très utile pour vérifier le bilan de masse et s'assurer que les flux massiques des contaminants entre les différentes unités sont fermés.



### 2.6.3 Modélisation

Pour vérifier la conception des procédés biologiques mécanisés, l'International Water Association (IWA) (Henze et collab., 2000) a publié des modèles de simulation dynamique. Il s'agit des modèles ASM1, ASM2, ASM2d et ASM3. Acceptés maintenant comme standard dans le domaine, ces modèles sont utilisés pour faire des simulations par incréments de temps et fournissent la réponse dynamique du système de traitement face aux variations des intrants à la station. Divers logiciels de calcul basés sur ces modèles sont disponibles (BioWin, GPS-X, WEST, SUMO, etc.).

Un groupe de recherche de l'IWA sur les bonnes pratiques de modélisation a publié des lignes directrices afin d'aider le concepteur dans ses simulations dynamiques pour les procédés de boue activée (Rieger et collab., 2013). Lors de l'utilisation de ces outils, le concepteur devrait apporter un soin particulier au **fractionnement des divers composants des eaux usées** de même qu'à la **calibration des modèles** et aux **valeurs retenues pour les constantes cinétiques et stœchiométriques**. Le cas échéant, la caractérisation du fractionnement des contaminants, de même que les analyses de sensibilité, de calibration et de validation devraient être présentées avec le dossier de conception.

Le choix du modèle est également important, car chaque modèle comporte certaines limites. Le modèle ASM1 traduit mathématiquement divers processus biologiques comme la consommation de la DCO par la biomasse, la nitrification, l'ammonification de l'azote organique, l'hydrolyse de la matière organique, ou encore le dépérissement de la biomasse. Le modèle ASM3 constitue une version plus poussée du modèle ASM1. Il inclut notamment le stockage du substrat biodégradable par la biomasse et devrait donc être privilégié pour simuler des cas où ce stockage est significatif, comme dans le cas des réacteurs à piston à court temps de rétention (p. ex. sélecteurs) ou de la prédénitrification (Van Loosdrecht et collab., 2008). Le modèle ASM2 introduit quant à lui divers processus additionnels comme l'enlèvement biologique et l'enlèvement chimique du phosphore. Le modèle dérivé ASM2d inclut en plus l'activité dénitrifiante de la biomasse accumulatrice de phosphore (PAO pour *phosphorus accumulating organism*) (Van Loosdrecht et collab., 2008). Hauduc (2011) compare les concepts sur lesquels reposent les modèles ASM, entre autres, avec les connaissances théoriques des processus biologiques. Cette publication met en relief le degré de simplification des concepts utilisés et avance les limites théoriques des modèles.

Le procédé biologique devrait être conçu de façon à assurer la stabilité des performances en fonction des différentes conditions d'alimentation. Les systèmes connexes au réacteur biologique (aération, séparation solide-liquide, pompage, etc.) devraient être pris en compte à part entière dans la simulation. Par exemple, l'étape de séparation solide-liquide dans l'ouvrage subséquent influence la concentration de MES à l'effluent du traitement secondaire, mais aussi la concentration de MES qui doit être maintenue dans la liqueur mixte du réacteur biologique s'il y a une recirculation des boues. L'usage de modèles mathématiques pour simuler la décantation doit être fait avec prudence. Notons que les modèles de la famille ASM ne prennent pas en compte le phénomène de foisonnement des boues (dû aux bactéries filamenteuses) qui influence la décantation et ne décrivent pas l'enlèvement des microorganismes pathogènes ou des micropolluants (Van Loosdrecht et collab., 2008).

La modélisation est un outil de conception de procédés biologiques mécanisés essentiel puisqu'elle fournit une vision dynamique de la stabilité du traitement dans différentes conditions. Les équations théoriques ou critères empiriques présentés dans les divers chapitres de ce guide sur les procédés et ouvrages d'une station d'épuration demeurent utiles et devraient être utilisés en combinaison avec la modélisation (dimensionnement préliminaire, validation du modèle, etc.).

## 2.6.4 Conception 3D et application du concept MIB

L'utilisation de logiciels de dessin en 3D pour modéliser les installations se répand de plus en plus, car ils permettent de visualiser plus facilement les aménagements dans l'espace qu'avec l'approche conventionnelle en 2D. Par ailleurs, des relevés en nuage de points 3D permettent de modéliser les bâtiments existants ainsi que tous leurs éléments mécaniques, structuraux et architecturaux plus facilement et précisément que les relevés « classiques ».

Le concept de modélisation des informations et du bâtiment (abrégé en MIB, provenant de l'anglais *Building Information Modeling* ou BIM) est une méthode de travail utilisée pour faciliter les processus de conception et de construction voire d'exploitation d'un bâtiment. Les logiciels de dessin en 3D permettent de créer des maquettes 3D (représentation numérique) qui contiennent des bases de données intelligentes et structurées d'un projet de bâtiment. L'utilisation des maquettes avec l'approche MIB peut alors servir à simuler des phases de construction, à réaliser des estimations de quantité et, ultimement, à prévoir le cycle de vie du bâtiment et à planifier son exploitation. Les données contenues dans les maquettes amènent une meilleure transparence entre tous les intervenants qui collaborent à l'élaboration du projet.

La conception 3D et l'approche MIB tendent donc à être utilisées conjointement lors de la préparation des plans et devis pour des projets d'envergure (p. ex. nouvelle station d'épuration mécanisée). Soulignons que tous les conflits reconnus et résolus à cette étape de conception sont des problématiques qui ne surviendront pas lors de la réalisation des travaux. Dans des projets moins complexes (comme les projets d'installation décentralisée ou les filières de traitement utilisant des procédés passifs), la plus-value de la conception 3D est moins importante.

Les logiciels de dessin 3D requièrent une bonne maîtrise des outils par des utilisateurs dûment formés. De plus, une bonne coordination d'équipe est requise car, en général, tous les intervenants utilisent la même maquette.

## 2.7 Considérations émergentes au sujet de l'exploitation d'une station d'épuration

### 2.7.1 Émissions de GES

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) des stations d'épuration constituent une préoccupation grandissante pour les institutions gouvernementales, la population et les propriétaires desdites stations (municipalités, régies, etc.). Comme les émissions de GES diffèrent d'un procédé à l'autre, cet aspect peut entrer en ligne de compte lors de la sélection de la solution de traitement.

Les stations d'épuration émettent directement (par leurs procédés) ou indirectement (par leur consommation d'énergie notamment) des GES (M&EA, 2014). Les trois principaux GES émis lors du traitement des eaux usées sont :

- le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) issu de la dégradation biologique de la matière organique;
- le méthane (CH<sub>4</sub>) issu de la digestion anaérobie;
- l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), sous-produit de la nitrification et de la dénitrification.

#### 2.7.1.1 Calcul des émissions de GES

L'unité « équivalent CO<sub>2</sub> » (éq. CO<sub>2</sub>) est utilisée pour comparer le potentiel de réchauffement climatique des différents GES puisque ceux-ci n'ont pas les mêmes impacts sur la rétention de chaleur dans l'atmosphère, comme le montre le Tableau 2.7.1-1.

**Tableau 2.7.1-1 – Potentiel de réchauffement climatique des GES**

GES	Potentiel de réchauffement climatique (éq. CO <sub>2</sub> )
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298

Source : MELCC (2019)

Le calcul des émissions de GES distingue trois catégories d'émissions (M&EA, 2014; MELCC, 2019) :

- catégorie 1 : les émissions directes;
- catégorie 2 : les émissions indirectes associées à l'achat et à la consommation de sources d'énergie externes (électricité, combustibles fossiles, etc.) pour alimenter électriquement la station, produire de la vapeur, chauffer ou refroidir les procédés;
- catégorie 3 : les émissions indirectes en amont, en aval ou tout au long du cycle de vie (p. ex. production et transport d'intrants).

Plusieurs ouvrages de référence présentent les méthodes et formules de calcul des émissions de GES, dont les suivants :

- [Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre](#), MELCC (2019) (référence à privilégier).
- [Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides – Guide de l'utilisateur](#), CCME (2009).
- [2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories](#), IPCC (2019).

- [Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks : 1990-2021](#), US EPA (2023).

Les émissions de GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) issues de chaque procédé de traitement des filières liquide et solide devraient être évaluées ainsi que celles attribuables au rejet des eaux usées non traitées (MELCC, 2019).

À noter que les émissions de CO<sub>2</sub> par la biomasse sont qualifiées d'« émissions biogéniques » et sont considérées comme carboneutres. Elles devraient donc être considérées à part des autres émissions de GES de la station d'épuration. En revanche, les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O issues de la biomasse ne sont pas carboneutres (MELCC, 2019). Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) considère toutefois que certaines sources de GES sont négligeables, comme présenté au Tableau 2.7.1-2.

**Tableau 2.7.1-2 – Sources négligeables de GES**

(Adapté de CCME, 2009)

Procédé	GES négligeables	Justification
Étang aéré facultatif	CH <sub>4</sub>	La couche aérobie superficielle oxyde efficacement le CH <sub>4</sub> .
Étang aéré complètement mélangé et autre réacteur aérobie	CH <sub>4</sub>	Le maintien de conditions ambiantes aérobies limite la production de GES.
Digestion aérobie mésophile	CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	Le maintien de conditions ambiantes aérobies limite la production de GES.
Ajout de polymères pour l'épaississement des boues	CO <sub>2</sub>	Le procédé n'exige qu'un apport minime d'énergie.
Récupération et combustion du biogaz	N <sub>2</sub> O	Des preuves empiriques laissent conclure à une légère production de GES, cette conclusion n'étant toutefois pas corroborée par des données.
Épaississement par gravité	CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	On suppose que ce procédé maintient des conditions aérobies.
Déshydratation passive	CO <sub>2</sub>	Utilisation d'énergie minime.
Séchage thermique	CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	Absence de données à l'appui.

### 2.7.1.2 Réduction des émissions de GES

Pour réduire les émissions de GES, il faut viser 1) la réduction de la consommation énergétique (émission indirecte) qui s'accompagne normalement d'une diminution des coûts d'exploitation et 2) le remplacement potentiel de la source énergétique par des sources moins polluantes.

Sur le plan des procédés, ceci se traduit notamment par (M&EA, 2014) :

- **Le contrôle de l'oxygène dissous**, car l'aération consomme beaucoup d'énergie et représente souvent la plus grosse demande énergétique d'une station d'épuration (50 % et plus selon l'étude de Crawford et Sandino [2010]). C'est pourquoi il est courant de contrôler de façon automatisée la concentration d'oxygène dissous au moyen d'un capteur en ligne. L'utilisation de soufflantes modulables ou de diffuseurs ayant de meilleurs coefficients de transfert d'oxygène peut également être une solution. Il est préférable d'éviter de passer de conditions anoxiques à des conditions aérobies dans un même bassin, car cela favorise la production de N<sub>2</sub>O.
- **L'installation de procédés requérant moins d'énergie directe ou indirecte** (p. ex. procédé anammox vs dénitrification) **ou produisant de l'énergie utilisable à la station** (p. ex. digestion anaérobie produisant du biogaz). À noter que le recouvrement d'énergie par les constituants des eaux usées est considéré comme biogénique et n'entre pas dans le calcul des GES.

- **L'utilisation du biogaz**, car il permet de réduire la consommation d'électricité et consiste en une mesure d'atténuation qui réduit les émissions de GES indirectes. De plus, le CO<sub>2</sub> produit par la combustion du biogaz est considéré comme biogénique et n'a donc pas à être pris en compte dans le calcul des émissions de GES de la station. À noter que, pour cette même raison, il est préférable de brûler l'excédent du biogaz qui ne peut être utilisé (émission de CO<sub>2</sub> biogénique dans l'atmosphère à la place du CH<sub>4</sub>).

## 2.7.2 Réutilisation des eaux usées

La préservation des ressources en eau constitue un enjeu majeur en matière de protection de l'environnement. Une façon d'y contribuer consiste à réutiliser en partie ou en totalité les eaux usées traitées. L'usage prévu des eaux usées traitées détermine les critères de qualité à rencontrer, chaque projet devant être traité au cas par cas. Ces critères établis selon le niveau de risque sont normalement plus contraignants que les normes établies pour un rejet « classique » (rejet en surface ou infiltration dans le sol). Des traitements tertiaires additionnels (ou même avancés ou quaternaires), un suivi particulier de l'effluent et la mise en place de mesures de contrôle de l'exposition sont souvent requis pour rendre possible la réutilisation des eaux usées traitées et protéger la santé des usagers.

Bien que la réutilisation des eaux usées traitées ne soit pas encore répandue au Québec, il existe des exemples de projets notamment dans l'industrie agroalimentaire (Desjardins et collab., 2016). Pour plus d'informations sur le sujet, le concepteur est invité à se référer à plusieurs publications qui traitent de ce type d'applications :

- [Réutilisation d'effluents de station de traitement d'eaux usées domestiques pour l'irrigation d'un terrain de golf](#), INSPQ (2006).
- [Portrait québécois et évaluation du risque à la santé de la réutilisation des eaux usées domestiques traitées pour l'irrigation de grandes surfaces gazonnées](#), INSPQ (2008).
- [Recommandations canadiennes sur les eaux domestiques recyclées destinées à alimenter les chasses d'eau des toilettes et des urinoirs](#), Santé Canada (2010).
- [Water and energy conservation guidance manual for sewage works](#), MOE (2012).
- [Reclaimed Water Guideline](#), BC Ministry of Environment (2013).
- *NSF/ANSI 350-2011 Onsite residential and commercial water reuse treatment systems.*
- [Guidelines for Water Reuse](#), US EPA (2012).
- *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*, NRC (2012).
- *Water Reuse – Issues, Technologies, and Applications*, M&EA (2007).
- *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples*, volume 2: Post-Treatment, Reuse, and Disposal, Qasim et Zhu (2018b).
- *California Code of regulations, Title 22. Social security, Division 4. Environmental health, Chapter 3. Water recycling criteria.*

## 2.8 Références bibliographiques

ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ESTIMATING (AACE) (2005). *Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement, and construction for the process industries*, TCM Framework: 7.3 – Cost Estimating and Budgeting, AACE International Recommended Practice No. 18R-97, 10 p.

BC MINISTRY OF ENVIRONMENT (2013). *Reclaimed Water Guideline*, [s. l.], [s. é.], 44 p.

CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME) (2009). *Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides – Guide de l'utilisateur.*, Winnipeg, 19 p.

CRAWFORD, G., et J. SANDINO (2010). *Energy efficiency in wastewater treatment in North America: A compendium of best practices and case studies of novel approaches*, Alexandria, Virginie, Water Environment Research Foundation (WERF) et IWA Publishing, 122 p.

DAVIS, M. (2010). *Water and Wastewater Engineering – Design principles and practice*, [s. l.], WEF Press, McGraw-Hill Companies, 1301 p.

DESJARDINS, M.-A., C. DROUIN, J. DESROCHES et S. BARTHÉLÉMY (2016). « Conservation et recyclage de l'eau : la vision durable d'Olymel à Saint-Esprit », *Vecteur Environnement*, vol. 49, n°4, p. 38-41.

HAUDUC, H. (2011). *Modèles biocinétiques de boues activées de type ASM : analyse théorique et fonctionnelle, vers un jeu de paramètres par défaut*. Thèse de doctorat, Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval, Québec, 222 p.

HENZE, M., W. GUJER, T. MINO et M. C. M. VAN LOOSDRECHT (2000). *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*, IWA Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment, Londres, R.-U., IWA Publishing, 121 p.

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (INSPQ) (2006). *Réutilisation d'effluents de station de traitement d'eaux usées domestiques pour l'irrigation d'un terrain de golf*, [s. l.], [s. é.], 11 p.

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (INSPQ) (2008). *Portrait québécois et évaluation du risque à la santé de la réutilisation des eaux usées domestiques traitées pour l'irrigation de grandes surfaces gazonnées*, [s. l.], [s. é.], 58 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2019). *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Suisse, [En ligne], <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>], (consulté le 15/08/2022).

*Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST)*, RLRQ, S-2.1 : *Section III - Le fournisseur* (art. 63 à 67) et *Section II – L'employeur* (obligations : art. 51 à 57), [En ligne], mis à jour 01/04/2022, <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/S-2.1>], (consulté le 15/08/2022).

METCALF & EDDY – AECOM (M&EA) (2007). *Water Reuse – Issues, Technologies, and Applications*, États-Unis, McGraw-Hill Companies, 1 570 p.

METCALF & EDDY – AECOM (M&EA) (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*, 5<sup>e</sup> éd., New York, États-Unis, McGraw-Hill Education, 2 018 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC) (2019). *Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre*, 107 p.

MOLINOS-SENANTE, M., N. HANLEY, F. HERNÁNDEZ-SANCHO et R. SALA-GARRIDO (2015). « The principles of economic evaluation and cost-benefit analysis implemented in sewage treatment plants », *Sewage Treatment Plants – Economic Evaluation of Innovative Technologies for Energy Efficiency*, Editors: Katerina Stamatelatos and Konstantinos, P. Tsagarakis, Londres, R.-U., IWA Publishing, 355 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2012). *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*, Washington, The National Academies Press, 349 p.

NEWMAN, D. G., J. JONES, J. D. WHITTAKER, T. ESCHENGACH et J. P. LAVELLE (2018). *Engineering economics analysis*, 4<sup>e</sup> éd. canadienne, Don Mills, Ontario, Oxford University Press, 518 p.

ONTARIO MINISTRY OF ENVIRONMENT (MOE) (2008). *Design guidelines for sewage works*, [s. l.], [s. é.], 476 p.

ONTARIO MINISTRY OF ENVIRONMENT (MOE) (2012). *Water and Energy Conservation Guidance Manual for Sewage Works*, [s. l.], [s. é.], [En ligne], [<https://www.ontario.ca/document/water-and-energy-conservation-guidance-manual-sewage-works-0>], (consulté le 15/08/2022).

QASIM, S. R., et G. ZHU (2018a). *Wastewater treatment and reuse – Theory and design examples*, Boca Raton, Floride, CRC Press, volume 1 : Principles and basic treatment, 1 161 p.

QASIM, S. R., et G. ZHU (2018b). *Wastewater treatment and reuse – Theory and design examples*, Boca Raton, Floride, CRC Press, volume 2 : Post-Treatment, Reuse, and Disposal, 747 p.

RIEGER, L., S. GILLOT, G. LANGERGRABER, T. OHTSUKI, A. SHAW, I. TAKÁCS et S. WINKLER (2013). *Guidelines for Using Activated Sludge Models*, scientific and technical report n° 22, Londres, R.-U., IWA Publishing, 287 p.

SANTÉ CANADA (2010). *Recommandations canadiennes sur les eaux domestiques recyclées destinées à alimenter les chasses d'eau des toilettes et des urinoirs*, Ottawa, [s. é.], 50 p.

U.S. EPA (1974). *Design Criteria for Mechanical, Electrical, and Fluid Systems and Component Reliability – Supplement to Federal Guidelines: Design, Operation, and Maintenance of Wastewater Treatment Facilities*, U.S. Environmental Protection Agency Report n° EPA-430-99-74-001, Washington, D.C., 58 p.

U.S. EPA (2012). *Guidelines for water reuse*, U.S. Environmental Protection Agency Report n° EPA/600/R-12/618, Washington, D.C., 643 p.

U.S. EPA (2023). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks : 1990-2021*, U.S. Environmental Protection Agency Report n° EPA 430-R-23-002, [En ligne], [<https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2021>], (consulté le 20/12/2023).

VAN LOOSDRECHT, M. C. M., G. A. EKAMA, M. C. WENTZEL, D. BRDJANOVIC et C. M. HOOIJMANS (2008). « Modelling Activated Sludge Processes », *Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design*, édité par M. Henze, M. C. M. van Loosdrecht, G. A. Ekama et D. Brdjanovic, Londres, R.-U., IWA Publishing, 511 p.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF) et AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) (2018). *Design of Water resource recovery facilities*, WEF Manual of Practice n° 8, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n° 76, 6<sup>e</sup> éd., New York, États-Unis, McGraw-Hill Education, 2 240 p.





**Environnement,  
Lutte contre  
les changements  
climatiques,  
Faune et Parcs**

**Québec** 