

Eaux pluviales et eaux usées



Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées

Le présent document est le cinquième de la série des règles de l'art qui traite des infrastructures linéaires enfouies, du traitement en aval et des questions liées à la gestion. Pour connaître les titres des autres règles de l'art de cette série ou d'autres séries, prière de visiter www.infraguide.ca.

Guide national pour
des infrastructures
municipales durables



NRC · CNRC



Fédération
canadienne des
municipalités
Canada

Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées

Publication n° 1.0

Date de publication: Novembre 2003

© 2003 Fédération canadienne des municipalités et le Conseil national de recherches du Canada

ISBN 1-897094-33-7

Le contenu de la présente publication est diffusé de bonne foi et constitue une ligne directrice générale portant uniquement sur les sujets abordés ici. L'éditeur, les auteur(e)s et les organisations dont ceux-ci relèvent ne font aucune représentation et n'avancent aucune garantie, explicite ou implicite, quant à l'exhaustivité ou à l'exactitude du contenu de cet ouvrage. Cette information est fournie à la condition que les personnes qui la consultent tirent leurs propres conclusions sur la mesure dans laquelle elle convient à leurs fins; de plus, il est entendu que l'information ci-présentée ne peut aucunement remplacer les conseils ou services techniques ou professionnels d'un(e) spécialiste dans le domaine. En aucune circonstance l'éditeur et les auteur(e)s, ainsi que les organisations dont ils relèvent, ne sauraient être tenus responsables de dommages de quelque sorte résultant de l'utilisation ou de l'application du contenu de la présente publication.

INTRODUCTION

InfraGuide – Innovations et règles de l'art

Pourquoi le Canada a besoin d'InfraGuide

Les municipalités canadiennes dépensent de 12 à 15 milliards de dollars chaque année dans le domaine des infrastructures, mais cela semble ne jamais suffire. Les infrastructures actuelles sont vieillissantes et la demande pour un plus grand nombre de routes de meilleure qualité, et pour de meilleurs réseaux d'eau et d'égout continue d'augmenter, en réaction à la fois aux normes plus rigoureuses en matière de sécurité, de santé et de protection de

l'environnement, et à la croissance de la population.

La solution consiste à modifier la façon dont nous planifions, concevons et gérons les infrastructures. Ce n'est qu'en agissant ainsi que les municipalités pourront satisfaire les nouvelles demandes dans un cadre responsable sur le plan fiscal et durable sur le plan de l'environnement, tout en préservant la qualité de vie.

C'est ce que le Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art (InfraGuide) cherche à accomplir.

En 2001, par l'entremise du programme Infrastructures Canada (IC) et du Conseil national de recherches Canada (CNRC), le gouvernement fédéral a uni ses efforts à ceux de la Fédération canadienne des municipalités (FCM) pour créer le Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide). InfraGuide est à la fois un nouveau réseau national de personnes et une collection de plus en plus importante de règles de l'art publiées à l'intention des décideurs et du personnel technique œuvrant dans les secteurs public et privé. En s'appuyant sur l'expérience et la recherche canadiennes, les rapports font état des règles de l'art qui contribuent à la prise de décisions et de mesures assurant la durabilité des infrastructures municipales dans six domaines clés : 1) la voirie municipale, 2) l'eau potable, 3) les eaux pluviales et les eaux usées, 4) la prise de décisions et

la planification des investissements, 5) les protocoles environnementaux et 6) le transport en commun.

On peut se procurer une version électronique en ligne ou un exemplaire sur papier des règles de l'art.

Un réseau d'excellence de connaissances

La création d'InfraGuide est rendue possible grâce à une somme de 12,5 millions de dollars

d'Infrastructures Canada, des contributions de produits et de services de diverses parties prenantes de l'industrie, de ressources techniques, de l'effort

commun des praticiens municipaux, de chercheurs et d'autres experts, et d'une foule de bénévoles du pays tout entier. En regroupant et en combinant les meilleures expériences et les meilleures connaissances des Canadiens, InfraGuide aide les municipalités à obtenir le rendement maximal de chaque dollar investi dans les infrastructures — tout en étant attentives aux répercussions sociales et environnementales de leurs décisions.

Des comités techniques et des groupes de travail formés de bénévoles — avec l'aide de sociétés d'experts-conseils et d'autres parties prenantes — sont chargés des travaux de recherche et de la publication des règles de l'art. Il s'agit d'un système de partage des connaissances, de la responsabilité et des avantages. Nous vous incitons à faire partie du réseau d'excellence d'InfraGuide. Que vous soyez un exploitant de station municipale, un planificateur ou un conseiller municipal, votre contribution est essentielle à la qualité de nos travaux.

Joignez-vous à nous

Communiquez avec InfraGuide sans frais, au numéro **1 866 330-3350**, ou visitez notre site Web, à l'adresse **www.infraguide.ca**, pour trouver de plus amples renseignements. Nous attendons avec impatience le plaisir de travailler avec vous.

Introduction

InfraGuide –
Innovations et règles
de l'art



Les grands thèmes des règles de l'art d'InfraGuide



Eaux pluviales et eaux usées

Le vieillissement des infrastructures souterraines, l'appauvrissement des ressources financières, les lois plus rigoureuses visant les effluents, la sensibilisation accrue de la population aux incidences environnementales associées aux eaux usées et aux eaux pluviales contaminées sont tous des défis auxquels les municipalités sont confrontées. Des événements tels que la contamination de l'eau à Walkerton et à North Battleford, ainsi que la récente classification, en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE), de l'ammoniac, du sel de voirie et des composés organiques chlorés comme substances toxiques, ont eu pour effet de relever la barre pour les municipalités. La règle de l'art en matière des eaux pluviales et des eaux usées traite des infrastructures linéaires enfouies, du traitement en aval et des questions liées à la gestion. Elle aborde, entre autres, les moyens de : contrôler et réduire l'écoulement et l'infiltration; obtenir des ensembles de données pertinentes et uniformes; inspecter les systèmes de collecte et en évaluer l'état et la performance, en plus de traiter de l'optimisation de l'usine de traitement et de la gestion des biosolides.



La prise de décisions et la planification des investissements

Les représentants élus et les échelons supérieurs de l'administration municipale ont besoin d'un cadre qui leur permet de faire connaître la valeur de la planification et de l'entretien des infrastructures tout en trouvant un équilibre entre les facteurs sociaux, environnementaux et économiques. La règle de l'art en matière de prise de décision et de planification des investissements convertit des notions complexes et techniques en principes non techniques et recommandations pour la prise de décision, et facilite l'obtention d'un financement soutenu adéquate pendant le cycle de vie de l'infrastructure. Elle aborde, entre autres, les protocoles servant à cerner les coûts-avantages associés aux niveaux de service désirés, les analyses comparatives stratégiques et les indicateurs ou points de référence dans le domaine de la politique d'investissement et des décisions stratégiques.



Les protocoles environnementaux

Les protocoles environnementaux se concentrent sur le rapport qu'exercent entre eux les systèmes naturels et leurs effets sur la qualité de vie humaine, en ce qui a trait à la livraison des infrastructures municipales. Les systèmes et éléments environnementaux comprennent la terre (y compris la flore), l'eau, l'air (dont le bruit et la lumière) et les sols. Parmi la gamme de questions abordées, mentionnons : la façon d'intégrer les considérations environnementales dans l'établissement des niveaux de service désirés pour les infrastructures municipales et la définition des conditions environnementales locales, des défis qui se posent et des perspectives offertes au niveau des infrastructures municipales.



L'eau potable

La règle de l'art en matière d'eau potable propose divers moyens d'améliorer les capacités des municipalités ou des services publics de gérer la distribution d'eau potable de façon à assurer la santé et la sécurité publique de manière durable tout en offrant le meilleur rapport qualité-prix. Des questions telles que la reddition de compte dans le domaine de l'eau, la réduction des pertes en eau et la consommation d'eau, la détérioration et l'inspection des réseaux de distribution, la planification du renouvellement, les technologies de remise en état des réseaux d'eau potable et la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution y sont abordées.



Le transport en commun

L'urbanisation impose des contraintes sur des infrastructures vieillissantes en voie de dégradation et suscite des préoccupations face à la détérioration de la qualité de l'air et de l'eau. Les réseaux de transport en commun contribuent à réduire les embouteillages et à améliorer la sécurité routière. La règle de l'art en matière de transport en commun fait ressortir la nécessité d'améliorer l'offre, d'influencer la demande et de procéder à des améliorations opérationnelles ayant des incidences minimales sur l'environnement, tout en répondant aux besoins sociaux et commerciaux.



Chaussées et trottoirs

La gestion rentable des chaussées municipales passe par une judicieuse prise de décision et un entretien préventif. La règle de l'art en matière de routes et trottoirs municipaux porte sur deux volets prioritaires : la planification préliminaire et la prise de décision visant à recenser et gérer les chaussées en tant que composantes du système d'infrastructures, et une approche de prévention pour retarder la détérioration des chaussées existantes. Au nombre des sujets traités, mentionnons l'entretien préventif, en temps opportun, des voies municipales; la construction et la remise en état des boîtiers des installations, et l'amélioration progressive des techniques de réparation des chaussées en asphalte et en béton.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières

Remerciements	7
Résumé	9
1. Généralités	11
1.1 Introduction	11
1.2 Portée	11
1.3 Santé et sécurité	12
1.4 Glossaire	12
2. Justification	15
2.1 Contexte	15
2.2 Avantages prévus de l'optimisation d'une STEP	16
2.2.1 Amélioration des performances, de la fiabilité, de la souplesse et de l'efficacité de la station	16
2.2.2 Réduction des coûts d'immobilisations relatifs à un agrandissement ou à une modernisation	16
2.2.3 Réduction des coûts d'exploitation	17
2.2.4 Amélioration des pratiques d'exploitation	17
3. Description du travail	19
3.1 Éléments d'un programme d'optimisation de STEP	19
3.2 Définition des objectifs	21
3.3 Outils d'évaluation d'une station	21
3.3.1 Rapport d'auto-évaluation	22
3.3.2 Examen des données historiques	22
3.3.3 Graphique de la capacité des procédés unitaires	23
3.3.4 Analyse de comptabilisation des boues	24
3.3.5 Référenciation des coûts d'exploitation et de la dotation en personnel	24
3.3.6 Évaluation des débitmètres	24
3.3.7 Surveillance continue	25
3.3.8 Surveillance en différé	26
3.4 Outils d'analyse de procédés	26
3.4.1 Analyse de la capacité et de l'efficacité du système d'aération	26
3.4.2 Modélisation hydraulique	27
3.4.3 Analyse du flux de recyclage des boues	27
3.4.4 Essais sous contrainte	27
3.4.5 Essais hydrauliques de clarificateur	29
3.4.6 Autres tests de diagnostic de clarificateur	29
3.4.7 Essais de mélange	29
3.4.8 Modélisation et simulation de procédés	30
3.5 Façons d'aborder l'optimisation	31
3.5.1 Améliorations de l'exploitation et de l'entretien	31
3.5.2 Instrumentation, contrôle-commande et automatisation	33
3.5.3 Modifications apportées aux procédés de traitement	34
3.5.4 Économies de coûts de ressources	35
3.6 Documentation des avantages	37
3.7 Organigramme des tâches d'optimisation	37
4. Cas d'utilisation et limitations	39
4.1 Cas d'utilisation	39
4.2 Limitations	39
Annexe A : Cas concrets choisis	41
Annexe B : Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés	49
Bibliographie	59
TABLEAUX	
Tableau 3-1 : Facteurs limitant les performances d'une STEP	20
Tableau 3-2 : Exemples des incidences d'un examen des données historiques sur les tâches d'optimisation subséquentes	22
Tableau 3-3 : Variables de procédés mesurées en ligne	25
Tableau 3-4 : Résumé des paramètres de conception et des critères d'évaluation types de procédés unitaires	28
Tableau 3-5 : Cas d'utilisation de l'automatisation dans les STEP	32
Tableau 3-6 : Approches possibles de l'optimisation des procédés d'épuration	34

FIGURES

Figure 3-1 : Éléments de l'optimisation d'une STEP	19
Figure 3-2 : Exemple de représentation graphique de la capacité des procédés	23
Figure 3-3 : Représentation de l'organigramme des tâches d'optimisation	39

REMERCIEMENTS

Nous apprécions énormément le dévouement des personnes qui ont donné leur temps et partagé leur expertise dans l'intérêt du *Guide national pour des infrastructures municipales durables*, et nous les remercions.

La présente règle de l'art a été créée par des groupes intéressés des municipalités canadiennes et des spécialistes du Canada tout entier. Elle est fondée sur de l'information tirée de la revue des pratiques municipales et d'une analyse documentaire approfondie. Les membres du Comité des Eaux pluviales et eaux usées du Guide national, dont on trouvera les noms ci-après, ont fourni des conseils et une orientation en rapport avec la rédaction du document. Ils ont été aidés par les employés de la Direction du guide et ceux de XCG Consultants Ltd.

John Hodgson, président
Ville d'Edmonton (Alberta)

André Aubin
Ville de Montréal (Québec)

Richard Bonin
Ville de Québec (Québec)

David Calam
Ville de Regina (Saskatchewan)

Kulvinder Dhillon
Province de la Nouvelle-Écosse
Halifax (Nouvelle-Écosse)

Tom Field
Delcan Corporation, Vancouver
(Colombie-Britannique)

Wayne Green
Ville de Toronto (Ontario)

Claude Ouimette
OMI Canada Inc., Fort Saskatchewan (Alberta)

Peter Seto
National Water Research Institute
Environnement Canada, Burlington (Ontario)

Timothy A. Toole
Ville de Midland (Ontario)

Bilgin Buberoglu
Conseiller technique, CNRC

De plus, le Comité aimerait remercier les personnes et l'institution qui suivent pour leur participation aux groupes de travail, aux révisions par les pairs et leur appui.

Susheel K. Arora
Municipalité du comté de Colchester
(Nouvelle-Écosse)

Vince Corkery
Ville d'Edmonton (Alberta)

Paul Do
Ville de Calgary (Alberta)

Graeme Faris
Regional District of Comox-Strathcona
(Colombie-Britannique)

André Marsan
Centre d'Épuration Rive-Sud de Longueuil (Québec)

Gaétan Morin
Roche Ltée, Groupe-Conseil (Québec)

Mark Rupke
Ville de Toronto (Ontario)

Peter Seto
National Water Research Institute
Environnement Canada, Burlington (Ontario)

James Arnott
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
Hull (Québec)

Tony Ho
Ministère de l'Environnement, Toronto (Ontario)

Debbie Macey
Canadian Association for Environmental Analytical
Laboratories (CAEAL), Ottawa (Ontario)

Vince Pileggi
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
Toronto (Ontario)

Serge Thériault
Environnement et Gouvernements locaux
(Nouveau-Brunswick)

A. Warren Wilson
WPC Solutions Inc., Calgary (Alberta)

Great Lakes Sustainability Fund
Environnement Canada

Remerciements

Remerciements

Cette règle de l'art n'aurait pu voir le jour sans le leadership et les conseils du comité directeur du projet et du comité directeur technique du *Guide national pour des infrastructures municipales durables* dont les membres sont comme suit :

Comité directeur du projet :

Mike Badham, président
Conseiller, Régina (Saskatchewan)

Stuart Briese
Portage la Prairie (Manitoba)

Bill Crowther
Ville de Toronto (Ontario)

Jim D'Orazio
Greater Toronto Sewer and Watermain
Contractors Association (Ontario)

Derm Flynn
Maire, Appleton (Terre-Neuve-et-Labrador)

David General
Cambridge Bay (Nunavut)

Ralph Haas
Université de Waterloo (Ontario)

Barb Harris
Whitehorse (Yukon)

Robert Hilton
Bureau de l'infrastructure, Ottawa (Ontario)

Joan Lougheed
Conseillère, Burlington (Ontario)
Liaison avec les intervenants

Saeed Mirza
Université McGill, Montréal (Québec)

René Morency
Régie des installations olympiques,
Montréal (Québec)

Lee Nauss
Conseiller, Lunenburg (Nouvelle-Écosse)

Ric Robertshaw
Région d'Halton, Ontario

Dave Rudberg
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Van Simonson
Ville de Saskatoon (Saskatchewan)

Basile Stewart
Maire, Summerside (Île-du-Prince-Édouard)

Serge Thériault
Environnement et Gouvernements locaux
(Nouveau-Brunswick)

Alec Waters
Alberta Transportation, Edmonton (Alberta)

Wally Wells
Dillon Consulting Ltd., Toronto (Ontario)

Comité technique directeur :

Don Brynildsen
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Al Cepas
Ville d'Edmonton (Alberta)

Andrew Cowan
Ville de Winnipeg (Manitoba)

Tim Dennis
Ville de Toronto (Ontario)

Kulvinder Dhillon
Gouvernement de la Nouvelle-Écosse,
Halifax (Nouvelle-Écosse)

Wayne Green
Ville de Toronto (Ontario)

John Hodgson
Ville d'Edmonton (Alberta)

Bob Lorimer
Lorimer & Associates, Whitehorse (Yukon)

Betty Matthews-Malone
Ville de Hamilton (Ontario)

Umendra Mital
Ville de Surrey (Colombie-Britannique)

Anne-Marie Parent
Conseillère, Montréal (Québec)

Piero Salvo
WSA Trenchless Consultants Inc., Ottawa (Ontario)

Mike Sheflin
Ancien APA de la municipalité régionale
d'Ottawa-Carleton (Ontario)

Konrad Siu
Ville d'Edmonton (Alberta)

Carl Yates
Halifax Regional Water Commission
(Nouvelle-Écosse)

Membre fondateur

Association canadienne des travaux publics
(ACTP)

Les stations d'épuration des eaux usées (STEP) sont ordinairement conçues selon des lignes directrices conservatrices et exploitées selon des pratiques historiques. De façon générale, l'expérience a démontré qu'il était souvent possible d'augmenter considérablement la capacité de ces installations en les optimisant. Il est également possible d'améliorer la qualité de l'effluent et de réduire les coûts d'exploitation d'une station. La présente règle de l'art donne un aperçu de la façon d'aborder l'optimisation d'une STEP existante. On y décrit également un ensemble d'outils dont l'utilisation permet d'atteindre les objectifs précis d'un programme d'optimisation. La mise en pratique de la présente règle de l'art permet de maximiser la capacité des infrastructures existantes, d'améliorer les performances des ouvrages et de réduire les coûts d'exploitation et d'entretien.

L'optimisation de la STEP doit devenir pour la municipalité une philosophie d'exécution qui sera parrainée par les gestionnaires et soutenue par le personnel à tous les niveaux, et dont l'objectif général consistera à améliorer sans cesse la station. La règle de l'art relative à l'optimisation d'une STEP inclut les éléments suivants :

- Définition des objectifs de l'optimisation.
- Évaluation de la STEP en vue de déterminer ou de référencer les conditions, de prioriser les occasions d'optimisation et de déterminer les facteurs limitant les performances ou la capacité des installations.
- Détermination et mise en œuvre des modifications à apporter aux opérations ou aux procédés dans le but d'éliminer les facteurs limitant les performances ou la capacité des installations.
- Exécution d'une surveillance de suivi dans le but de documenter les avantages de l'optimisation.

Le programme d'optimisation d'une STEP est itératif et il faut définir des objectifs précis avant chaque itération. Selon les objectifs définis, il se peut que les résultats de l'optimisation de la station incluent un des éléments mentionnés ci-après ou chacun d'eux.

- L'augmentation de la capacité des ouvrages existants sans les importants coûts d'immobilisations associés à l'agrandissement d'une station;
- L'amélioration des performances de la station en ce qui a trait au respect de prescriptions plus strictes relativement à l'effluent, sans les importants coûts d'immobilisations associés à la modernisation d'une station; et
- La réduction des coûts d'exploitation grâce à l'utilisation plus efficace de l'énergie électrique, des produits chimiques et de la main-d'œuvre.

La présente règle de l'art offre aux propriétaires et aux exploitants de STEP la description de certains des outils de pointe qu'ils peuvent utiliser pour évaluer et optimiser leur station ainsi que chacun des procédés unitaires qui la constituent; parmi les outils, mentionnons :

- Les essais de transfert d'oxygène;
- La modélisation hydraulique;
- Les essais hydrauliques de clarificateur;
- Les essais sous contrainte; et
- La modélisation et la simulation de procédés.

Le document décrit les outils qui permettent d'optimiser une station d'épuration des eaux usées en améliorant les pratiques d'exploitation et d'entretien, l'instrumentation, le contrôle-commande et l'automatisation, et en modifiant les procédés; il mentionne également les possibilités de réaliser des économies de coûts de ressources.

Résumé

La surveillance de suivi nécessaire à la documentation du niveau de réussite atteint est un des éléments clés de la règle de l'art relative à l'optimisation d'une STEP dont on ne tient souvent aucun compte. La communication des avantages du programme d'optimisation est essentielle au soutien de toute initiative future. Ce soutien est la clé de la durabilité du processus itératif d'optimisation et de la création au sein de la municipalité de conditions favorables à l'optimisation.

Le document illustre une approche par étapes qui suggère le type d'essais qu'il est possible d'effectuer pour atteindre divers objectifs pertinents; l'approche peut également servir de guide pour l'optimisation d'une STEP.

1. Généralités

1. Généralités

1.1 Introduction

Les stations d'épuration des eaux usées (STEP) ont toujours été conçues selon des lignes directrices et des normes conservatrices qui ont été élaborées d'après des pratiques historiques en matière de conception. Les conducteurs d'installation se transmettent souvent les procédures sans tenir aucunement compte des nouvelles approches qui permettraient d'améliorer les performances de la station ou de réduire les coûts connexes. De façon générale, l'expérience a démontré qu'il était souvent possible d'augmenter considérablement la capacité d'une STEP au-delà de la capacité théorique qui lui a été attribuée au moment de la conception. Il est en outre souvent possible d'améliorer la qualité de l'effluent et de réduire les coûts d'exploitation en abordant l'optimisation de diverses façons.

La présente règle de l'art donne un aperçu d'une approche itérative de l'optimisation d'une STEP existante, qui permet au propriétaire ou à l'exploitant de maximiser la capacité des infrastructures existantes, d'améliorer les performances et de réduire les coûts d'exploitation de l'installation.

1.2 Portée

La présente règle de l'art a été élaborée dans le cadre de la préparation du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art*. Elle fait partie de la cinquantaine d'aspects recensés par le Comité technique sur les eaux pluviales et les eaux usées du projet en rapport avec les infrastructures linéaires, l'épuration des eaux usées, l'interaction des clients et les questions relatives aux eaux réceptrices.

La présente règle de l'art concerne l'optimisation des stations d'épuration des eaux usées municipales. On considère que l'optimisation d'une STEP est un processus dont les multiples étapes mènent à l'utilisation maximale des infrastructures existantes à un coût d'exploitation concurrentiel et durable. Selon les objectifs du programme d'optimisation, les résultats obtenus peuvent inclure un des éléments mentionnés ci-après ou chacun d'eux.

- L'augmentation de la capacité des ouvrages existants sans les importants coûts d'immobilisations associés à l'agrandissement d'une station;
- Le respect de prescriptions plus strictes relatives à l'effluent sans les importants coûts d'immobilisations associés à la modernisation d'une station; et
- La réduction des coûts d'exploitation grâce à l'utilisation plus efficace de l'énergie électrique, des produits chimiques et de la main-d'œuvre.

La présente règle de l'art englobe le traitement des flux d'eaux usées liquides, y compris les épurations préliminaire, primaire, secondaire et tertiaire, et la désinfection de l'effluent après traitement. La digestion et la stabilisation des boues, et la gestion des biosolides ne sont pas traitées dans le document. L'équipe du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art* a toutefois élaboré une règle de l'art relative à la gestion des biosolides. Le lecteur est prié de consulter cette règle pour trouver des renseignements sur le traitement des biosolides.

1.1 Introduction

1.2 Portée

1. Généralités

1.3 Santé et sécurité

1.4 Glossaire

1.3 Santé et sécurité

Certaines des procédures d'essai décrites dans la présente règle de l'art nécessitent l'utilisation de produits chimiques dangereux ou obligent les employés à travailler dans certaines zones dangereuses de la STEP, à proximité d'équipements électriques ou mécaniques. Il faut donc prendre les mesures de sécurité appropriées avant d'entreprendre n'importe lequel des essais décrits dans le présent document; il faut notamment se reporter aux fiches signalétiques (FS) des fabricants des produits chimiques susceptibles d'être utilisés durant les essais.

1.4 Glossaire

Acquisition et contrôle des données (SCADA) — Système informatisé d'alarme, d'intervention, de contrôle et d'acquisition de données utilisé dans les STEP pour surveiller les activités.

Aération étagée — Variante du procédé par boue activée selon laquelle les eaux résiduaires sont introduites dans le bassin d'aération en différents points répartis le long du bassin afin d'obtenir une demande en oxygène plus uniforme au travers du système.

Azote total Kjeldahl (ATK) — Somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal présents dans un échantillon d'eau.

Boues activées de retour (BAR) — Portion des boues activées qui est séparée de la liqueur mixte dans le bassin de sédimentation secondaire et retournée dans le bassin d'aération.

Boues activées excédentaires (BAE) — Portion excédentaire des boues activées séparée de la liqueur mixte dans le bassin de sédimentation secondaire et transférée au procédé de stabilisation des boues.

Demande biochimique d'oxygène (DBO) — Quantité d'oxygène, exprimée en mg/L, consommée pendant l'oxydation biochimique de la matière organique durant un temps donné (c.-à-d. DBO à 5 jours, ou DBO₅) à une température de 20°C.

Demande chimique en oxygène (DCO) — Quantité d'oxygène utilisée pour oxyder par voie chimique des substances organiques selon des procédés en laboratoire normalisés; elle est exprimée en milligrammes par litre.

Demande endogène d'oxygène — Les besoins essentiels d'oxygène requis par les micro-organismes pour respirer, indépendamment de la charge courante des eaux usées.

Eau de captage et infiltration (EC-I) — L'eau de captage, c'est l'eau qui pénètre dans l'égout sanitaire par temps de pluie en provenance de sources telles que les descentes pluviales, les drains de fondation, les tampons de regard d'égout ou les connexions fautives d'égout pluvial. L'infiltration, c'est l'eau qui pénètre dans le réseau d'égout sanitaire depuis le sol par des défauts dans les conduites, les joints de conduite, les raccords ou les parois de regard.

Élimination biologique des nutriments (EBN) — Procédés qui permettent d'éliminer l'azote ou le phosphore par des moyens biologiques plutôt que chimiques ou physiques.

Indice du volume des boues activées (IVBA) — Indice qui permet de mesurer les propriétés de sédimentation des boues. La valeur est exprimé en ml/g.

Indice de volume des boues (IVB) — Mesure des caractéristiques de sédimentation de la biomasse, définie comme le volume en millilitres occupé par 1 g de boue après sédimentation pendant 30 minutes dans un cylindre gradué de un litre.

Matières volatiles en suspension (MVS) —

La quantité total de solides qui se transforment en gaz pendant la combustion à $550 \pm 50^\circ\text{C}$, exprimé normalement en mg/L. Il indique le contenu de la biomasse du liquide mixte.

Matières solides en suspension dans la liqueur mixte — Concentration, exprimée en mg/L, des matières sèches dans la biomasse de la liqueur mixte dans le bassin d'aération d'une STEP à biomasse en suspension (à boue activée ou à aération prolongée).

Oxygène dissous (OD) — Concentration d'oxygène dissous dans l'eau. L'oxygène dissous est important pour le traitement biologique aérobie (« avec air »). Il est important pour la vie aquatique dans le cours d'eau récepteur que la concentration d'OD dans un effluent d'eaux usées soit adéquate.

Phosphore total (PT) — Quantité total de phosphore trouvé dans les eaux usées (ou dans l'eau) sous forme soluble ou insoluble, en composés organiques ou inorganiques (orthophosphates, metaphosphates ou polyphosphate) et normalement exprimé en mg/L.

Potentiel d'oxydoréduction (Eh) — Mesure du potentiel net de tous les oxydants ou agents réducteurs contenus dans une solution.

Ratio nourriture-micro-organismes (N/M) — Rapport entre la DBO ou la DCO de l'influent et la concentration des matières volatiles en suspension dans un bassin d'aération de station d'épuration des eaux usées. Les unités N/M sont généralement d^{-1} .

Séquencement des réacteurs discontinus (SRD) —

Procédé de traitement caractérisé par l'interruption du débit dans le réacteur durant la phase de sédimentation et de décantation de l'épuration.

Taux d'apport spécifique en oxygène (TASO) —

Aussi connu comme le taux de consommation et de respiration en oxygène, défini en milligramme d'oxygène consommé par gramme de solides volatiles en suspension (MVS) à l'heure.

Taux de charge des boues (TCB) — Le taux de charge massique (kg/j) des matières en suspension dans la liqueur mixte (MSLM) par unité de surface du clarificateur secondaire. Ce taux s'exprime généralement sous la forme de $\text{kg/m}^2 \cdot \text{d}$.

Temps de rétention hydraulique (TRH) —

Mesure de la durée du séjour de l'eau dans un réservoir ou un bassin, qu'on détermine en divisant la capacité (L) du bassin ou du réservoir par le débit du liquide (L/D).

Temps de séjour de la boue (TSB) — Mesure de la durée théorique du séjour de la particule moyenne de matières solides en suspension dans le processus d'épuration biologique.

Total des solides en suspension (TSS) —

Matières solides présentes dans un échantillon d'eau et qui sont retenues sur le papier filtre après le filtrage de l'échantillon; la valeur est exprimée en mg/L.

2. Justification

2. Justification

2.1 Contexte

2.1 Contexte

Au cours des années 1980 et au début des années 1990, on commençait tout juste à reconnaître que l'optimisation des STEP constituait un moyen rentable d'améliorer les performances, de réduire les coûts et de maximiser l'utilisation des infrastructures existantes. Les premiers efforts d'optimisation aux États-Unis ont eu lieu parce qu'on reconnaissait qu'on avait immobilisé des sommes considérables dans de nouvelles installations dont les performances étaient inférieures aux attentes. On a mis au point le Composite Correction Program (CCP) (Programme polyvalent de redressement, au Canada) dans le but de cerner les principales causes de la médiocrité de l'efficacité de ces stations (EPA, 1985)

L'augmentation des prix de l'énergie durant les années 1980 a amené les gestionnaires de STEP à recourir à des techniques d'optimisation dans le but de réaliser des économies d'énergie. On a élaboré la vérification des procédés à partir de travaux exécutés à la station de Tillsonburg, en Ontario, surtout comme moyen de réduire la quantité d'énergie utilisée par les procédés à ces installations (Speirs et Stephenson, 1985). L'utilisation de l'outil a démontré qu'il était également possible de s'en servir pour évaluer la capacité d'une station et déterminer la diminution des coûts d'immobilisations permettant d'augmenter la capacité d'ouvrages existants.

On a commencé à voir apparaître dans la documentation technique des cas concrets montrant que l'optimisation des STEP permettait de réaliser des économies substantielles de frais d'immobilisations et d'exploitation. On a rédigé des guides décrivant les avantages de l'optimisation des STEP et les approches connexes (WEAO, 1996). Au milieu des années 1990, l'optimisation des STEP était devenue une pratique bien établie. Dans certains territoires ou provinces, l'optimisation des ouvrages existants est devenue une condition préalable à l'obtention d'une subvention pour l'agrandissement d'une station.

Parmi les objectifs précis de l'optimisation d'une STEP, on peut retrouver un des éléments mentionnés ci-après ou chacun d'eux.

- Amélioration des performances, de la fiabilité, de la souplesse et de l'efficacité de la station;
- Réduction des coûts d'immobilisations d'un agrandissement ou d'une modernisation;
- Réduction des coûts d'exploitation liés à l'utilisation d'énergie, à l'utilisation de produits chimiques et à la main-d'œuvre; et
- Amélioration des pratiques d'exploitation.

2. Justification

2.2 Avantages prévus de l'optimisation d'une STEP

2.2 Avantages prévus de l'optimisation d'une STEP

2.2.1 Amélioration des performances, de la fiabilité, de la souplesse et de l'efficacité de la station

La mise en pratique de la présente règle de l'art permettra d'améliorer les performances de la station et fera en sorte que celle-ci sera probablement conforme aux exigences réglementaires.

La municipalité régionale de Halton, le propriétaire-exploitant de la STEP Burlington Skyway, a utilisé le Composite Correction Program (CCP) comme outil d'optimisation pour améliorer considérablement les performances de l'installation. Cette démarche était en réaction au besoin de respecter des prescriptions plus strictes relatives à la qualité de l'effluent. L'approche CCP est décrite dans la section 3.5 de la présente règle de l'art. L'évaluation globale des performances permet de déterminer les limitations non techniques ou liées aux gestionnaires et aux ressources humaines, en tant que facteurs limitant les performances de la station. Les améliorations apportées au cours de l'assistance technique globale de suivi ont produit une augmentation importante de l'efficacité de la station, ce qui a permis de respecter des limites en matière de phosphore et d'ammoniac dont on considérait qu'il était impossible de les respecter sans devoir faire d'importantes dépenses en immobilisations. En même temps, l'augmentation de la capacité des installations a permis de réaliser des économies substantielles grâce au report de dépenses en immobilisations relatives à l'agrandissement de la station. On a estimé que les économies totales de frais d'immobilisations se chiffraient à environ 50 millions de dollars. On trouvera à l'annexe A un cas concret plus détaillé des réalisations du projet d'optimisation de la STEP Burlington Skyway (cas concret n° 1).

2.2.2 Réduction des dépenses en immobilisations relatives à un agrandissement ou à une modernisation

L'optimisation d'une STEP permet de réaliser d'importantes économies de frais d'immobilisations en maximisant les possibilités et la capacité des infrastructures existantes.

La municipalité régionale de Waterloo, le propriétaire-exploitant de la STEP d'Ayr, a été en mesure de faire reclassifier l'installation en faisant passer la capacité théorique nominale de 1181 m³/j à une nouvelle capacité théorique de 1500 m³/j après avoir utilisé certains des outils d'optimisation décrits dans la présente règle de l'art. L'examen des données historiques et la création d'une représentation graphique de la capacité des procédés ont permis de déterminer qu'il existait une capacité supplémentaire dans les principaux procédés unitaires de la station compacte à aération prolongée. L'examen a également permis de remettre en question la précision des mesures de débits de la station. On a procédé à des essais sous contrainte des clarificateurs secondaires, à des essais de transfert d'oxygène et à la modélisation pour simulation biologique pour confirmer les conclusions de l'évaluation effectuée par ordinateur. L'organisme de réglementation a donc délivré un nouveau certificat d'approbation de la capacité accrue de la station, qui comportait des prescriptions plus strictes relativement à la teneur en ammoniac et en phosphore de l'effluent, ce qui a permis à la municipalité de poursuivre l'aménagement de son territoire. L'augmentation de 27 p. 100 de la capacité a été obtenue à la suite d'améliorations mineures apportées au système d'aération, au poste de pompage des eaux d'égout brutes et au système de pompage des boues de retour. L'augmentation de la capacité n'a exigé aucun nouveau bassin d'aération ou de clarification. On trouvera à

l'annexe A un cas concret plus détaillé du projet de la STEP d'Ayr (cas concret n° 2). Un autre exemple d'optimisation se trouve à l'annexe A (cas concret n° 4). Ce cas concret élabore une optimisation qui a permis de réduire les dépenses en immobilisations lors d'un agrandissement de la STEP de Montréal.

2.2.3 Réduction des coûts d'exploitation

L'optimisation d'une STEP permet de réduire les coûts d'exploitation associés à la consommation énergétique, à l'utilisation de produits chimiques et à la main-d'œuvre.

On a effectué à la STEP de Tillsonburg la démonstration du fonctionnement de l'aération en mode optimisé dans le but de déterminer les répercussions de l'aération tout ou rien sur les coûts d'énergie. La configuration de la station permettait de faire une comparaison directe du fonctionnement en mode tout ou rien et du fonctionnement en mode continu classique de bassins d'aération des boues activées raccordés en parallèle. On a réalisé des économies d'énergie variant de 16 à 26 p. 100, selon qu'une seule ou que les deux cellules d'aération fonctionnaient. Le fonctionnement en mode tout ou rien a également produit une certaine dénitrification, ce qui a réduit la concentration totale d'azote dans l'effluent de la station. On trouvera à l'annexe A un cas concret plus détaillé de la démonstration de l'aération en mode tout ou rien (cas concret n° 3). Un autre exemple d'optimisation qui a permis de réduire les dépenses en produits chimiques à la STEP de Montréal est aussi inclus à l'annexe A (cas concret n° 4).

2.2.4 Amélioration des pratiques d'exploitation

L'amélioration des pratiques d'exploitation produit des avantages dans tous les domaines mentionnés plus haut.

L'amélioration de la compréhension des rudiments des procédés de traitement d'eaux d'égout grâce à la formation des conducteurs d'installation et à l'application appropriée de ces concepts au contrôle des procédés permet d'améliorer la capacité et la fiabilité de la station, en plus de permettre au personnel d'exploitation de reconnaître les occasions de réduire les coûts. Grâce à l'utilisation de techniques comme l'assistance technique globale (ATG), il est possible de transférer les connaissances et les compétences qui mèneront à l'optimisation durable et à l'amélioration continue de la STEP, tel que l'illustrent les travaux d'optimisation entrepris à la STEP Burlington Skyway.

2. Justification

2.2 Avantages prévus de l'optimisation d'une STEP

L'amélioration de la compréhension des rudiments des procédés de traitement d'eaux d'égout grâce à la formation des conducteurs d'installation et à l'application appropriée de ces concepts au contrôle des procédés permet d'améliorer la capacité et la fiabilité de la station.

3. Description du travail

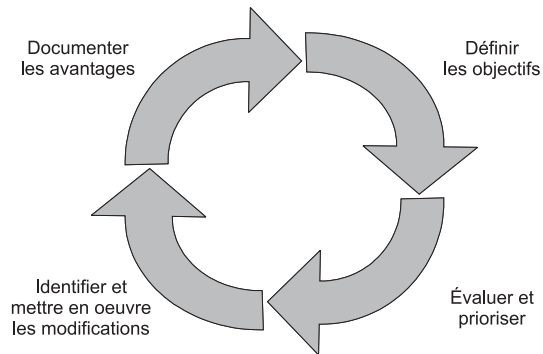
3.1 Éléments d'un programme d'optimisation de STEP

L'optimisation d'une STEP n'est pas un projet isolé exécuté par un entrepreneur pour le compte du propriétaire de la station. Il s'agit plutôt d'une philosophie d'exploitation appuyée par l'objectif général que constitue l'amélioration continue. Certains des outils utilisés pour optimiser la STEP et dont la description se trouve dans la présente règle de l'art peuvent être utilisés par un entrepreneur pour le compte de la municipalité, mais l'ensemble du programme d'optimisation doit être parrainé par cette dernière et appuyé par le personnel à tous les niveaux de l'organisation. Les éléments de la règle de l'art relative à l'optimisation d'une STEP s'appliquent à toutes les stations d'épuration, peu importe la taille ou le type; les outils utilisés peuvent toutefois varier. Ceux dont on se sert dans le cas d'une petite STEP peuvent différer de ceux utilisés dans le cas d'une station importante, parce que les coûts et le rendement possible liés à certaines approches risquent de ne pas être justifiés dans le cas des petites installations.

La règle de l'art relative à l'optimisation d'une STEP inclut les éléments suivants :

- Définition des objectifs de l'optimisation.
- Évaluation de la STEP dans le but de définir la base ou les conditions de référence, de prioriser les possibilités d'optimisation et de déterminer les facteurs limitant les performances ou la capacité des installations.
- Détermination et mise en œuvre des modifications à apporter aux opérations ou aux procédés dans le but d'éliminer les facteurs limitant les performances ou la capacité des installations.
- Exécution d'une surveillance de suivi dans le but de documenter les avantages.

Figure 3-1 : Éléments de l'optimisation d'une STEP.



Le niveau d'amélioration atteint et les avantages tirés de la mise en pratique de la présente règle de l'art dépendent du point de départ. Il se peut que des mesures correctives soient nécessaires au départ pour faire en sorte que le personnel d'exploitation possède les connaissances de base requises et que les performances de la station soient acceptables. Par la suite, on pourra cibler d'autres améliorations à apporter à l'efficacité des installations. Le processus est donc itératif et il faut déterminer des objectifs précis avant chaque itération.

Le Composite Correction Program (CCP) a été élaboré par la Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA, 1985) dans le but de déterminer les facteurs qui empêchent une STEP de se conformer aux exigences relatives à l'effluent et d'atténuer les problèmes opérationnels que connaissent les installations de ce genre. Au moyen du CCP, il est possible de régler avec un minimum de dépenses d'immobilisations les problèmes qui font que les performances d'une station sont médiocres. L'approche a été modifiée de manière à pouvoir être utilisée dans les STEP canadiennes (MEEQ, 1996).

3. Description du travail

3.1 Éléments d'un programme d'optimisation de STEP

Figure 3-1
Éléments de l'optimisation d'une STEP.

L'optimisation d'une STEP s'agit plutôt d'une philosophie d'exploitation appuyée par l'objectif général que constitue l'amélioration continue.

3. Description du travail

3.1 Éléments d'un programme d'optimisation de STEP

Tableau 3-1
Facteurs limitant les performances d'une STEP

Le CCP est un processus à deux étapes qui suit un format assez rigoureux. La première étape, l'évaluation globale des performances, vise à évaluer la possibilité pour la STEP d'atteindre le niveau d'efficacité désiré. L'évaluation porte surtout sur quatre domaines principaux : la conception, l'exploitation, l'entretien et l'administration de la station. Durant l'évaluation, on détermine et on priorise les facteurs qui limitent les performances et qui sont ordinairement au nombre de 5 à 15. Certains des facteurs qui peuvent limiter les performances ou la capacité d'une station sont mentionnés dans le tableau 3-1.

La méthodologie utilisée pour effectuer une évaluation globale des performances peut se résumer comme suit :

- Détermination des facteurs limitant les performances.
- Priorisation des facteurs limitant les performances.

- Évaluation de la façon d'aborder l'amélioration des performances de la station.
- Production d'un rapport d'évaluation global des performances.

Selon les résultats de l'évaluation, on classe la STEP comme capable (type 1), marginale (type 2) ou incapable (type 3), pour ce qui est de son aptitude à respecter les prescriptions au débit actuel. Les causes des problèmes sont déterminées et regroupées dans trois catégories de priorité :

- Les facteurs de priorité A ont en permanence une incidence majeure sur les performances de la station.
- Les facteurs de priorité B ont une incidence majeure de façon périodique ou une incidence mineure de façon permanente sur les performances de la station.
- Les facteurs de priorité C ont une incidence mineure sur les performances de la station.

Tableau 3-1 : Facteurs limitant les performances d'une STEP.

Catégorie	Facteurs
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ■ Surveillance des procédés ■ Évacuation et élimination des boues ■ Connaissances du personnel d'exploitation ■ Soutien manuel ou technique ■ Disponibilité du matériel ■ Choix et utilisation appropriés de produits chimiques
Conception	<ul style="list-style-type: none"> ■ Charge hydraulique ■ Charge organique ■ Transfert d'oxygène ■ Eau de captage et infiltration (EC-I) ■ Instrumentation et contrôle-commande (IC) ■ Charge industrielle ■ Manque de souplesse ■ Capacité de traitement des boues ■ Capacité de stockage des boues ■ Capacité d'élimination des boues ■ Matériel de procédés ■ Conception non modulaire ■ Configuration du processus de mise en réservoir
Entretien	<ul style="list-style-type: none"> ■ Programmation et enregistrement ■ Défaut de fonctionnement du matériel ■ Disponibilité du matériel ■ Main-d'œuvre qualifiée ■ Âge du matériel ■ Connaissances/Formation du personnel
Administration	<ul style="list-style-type: none"> ■ Niveau de dotation en personnel ■ Soutien de la part des entités administratives ■ Financière ■ Politiques ■ Tenue de dossiers ■ Formation des conducteurs d'installation

Pour réussir à améliorer les performances à long terme, il faut aborder tous les facteurs qui contribuent à la médiocrité de l'efficacité de la station, à l'étape suivante de l'optimisation.

La seconde étape du CCP, qu'on appelle l'assistance technique globale, est normalement entreprise à une STEP de type 1 ou de type 2 et elle exige qu'on aborde systématiquement les facteurs limitant l'efficacité de la station qui ont été déterminés dans le cadre de l'évaluation globale des performances et qui ne nécessitent aucun travaux d'immobilisations. La formation des conducteurs d'installation en milieu de travail et le soutien relatif à la mise en œuvre des techniques de contrôle des procédés, et du mode opératoire normalisé dans le but d'améliorer l'efficacité des procédés sont une composante importante de l'assistance technique globale. En outre, l'habilitation du personnel d'exploitation à fixer les priorités et à utiliser les techniques de résolution de problèmes entraîne l'amélioration des performances de la station. Le WEAO (Water Environment Association of Ontario) a publié des guides intitulés « *Training Operators on Problem Solving Skills* » comprenant un guide pour moniteur et un pour étudiants. On peut obtenir ces guides en communiquant avec l'association au www.weao@weao.org.

Dans le contexte de la présente règle de l'art, l'étape de l'évaluation globale des performances du CCP est considérée être un outil d'évaluation de station (voir l'article 3.3) et elle nécessite généralement des composantes telles que l'examen des données historiques (article 3.3.2) et les représentations graphiques de l'efficacité des procédés (article 3.3.3). Elle inclut toutefois aussi une évaluation plus générale des facteurs administratifs qui peuvent limiter les performances de la station.

L'étape de l'assistance technique globale du Composite Correction Program (Programme polyvalent de redressement) est l'étape d'optimisation elle-même et elle est traitée à l'article 3.5.1 de la présente règle de l'art.

3.2 Définition des objectifs

La nature des outils utilisés pour l'optimisation d'une STEP est fonction des objectifs suivants :

- Réduction des coûts énergétiques;
- Réduction des coûts des produits chimiques;
- Amélioration de la fiabilité grâce à l'élimination des contre-performances et des problèmes opérationnels;
- Amélioration de la qualité de l'effluent;
- Amélioration de la qualité des biosolides;
- Augmentation de la capacité de la station d'épuration;
- Diminution des coûts de main-d'œuvre;
- Réduction de la production de boues;
- Diminution des coûts d'immobilisations relatifs à la modernisation ou à l'agrandissement de la station; ou
- Réduction de la production d'odeurs.

Il faut définir et documenter des objectifs précis avant d'entreprendre l'optimisation de la STEP. Les objectifs peuvent être qualitatifs (c.-à-d. moins de contre-performances, moins de dépassements dans l'effluent) ou quantitatifs (réduction de 15 p. 100 des coûts énergétiques, augmentation de 25 p. 100 de la capacité de la station). Cela permet d'établir une comparaison entre les objectifs et le succès obtenu à l'aide des mesures prises.

3.3 Outils d'évaluation de station

Au cours de l'étape de l'évaluation de la STEP, on évalue les performances, on détermine et on priorise les facteurs limitant la capacité, et on élabore la façon d'aborder l'optimisation de la station. On peut utiliser divers outils pour faire l'évaluation.

3. Description du travail

- 3.1 Éléments d'un programme d'optimisation de STEP
- 3.2 Définition des objectifs
- 3.3 Outils d'évaluation de station

3. Description du travail

3.3 Outils d'évaluation de station

Tableau 3-2

Exemple de répercussions de l'examen des données historiques sur les tâches d'optimisation subséquentes.

3.3.1 Rapport d'auto-évaluation

Le rapport d'auto-évaluation, préparé par un conducteur d'installation qualifié ou le directeur de la station, permet d'évaluer les performances de la STEP ainsi que de cerner et de prioriser les domaines d'optimisation en collectant de l'information sur l'état, la qualité et la capacité du système d'épuration.

Le rapport doit être préparé à tous les ans et il représente la fiche de rendement de l'installation pour les gestionnaires et les conseillers municipaux. Il sert à évaluer l'état de ce qui suit :

- Conformité de l'effluent et efficacité de la station;
- Capacité de la station (actuelle et prévisions quinquennales);
- Débordements d'égouts unitaires et contournements de la station;
- Manutention, stockage et élimination des boues;
- Échantillonnage et analyse de l'effluent;
- Entretien du matériel;
- Formation et certification des conducteurs d'installation; et
- Budgets d'exploitation et d'entretien actuels, de même que budgets relatifs à la croissance ou au remplacement futur de l'installation.

Le ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) a élaboré un modèle de rapport d'auto-évaluation à partir du modèle utilisé avec succès depuis plusieurs années par le Département de ressources naturelles de l'État du Wisconsin (Wisconsin State's Department of Natural Resources). On peut trouver le modèle sur le site Web du Ministère, à l'adresse <<http://www.ene.gov.on.ca/>>.

3.3.2 Examen des données historiques

L'examen des données historiques est une composante essentielle de l'étape de l'évaluation de tout programme d'optimisation d'une STEP. Il permet de définir les chargements de la station, l'efficacité de chaque procédé unitaire et les principaux paramètres opérationnels des procédés. Il permet également de déterminer les lacunes de données qu'une surveillance supplémentaire permettra de combler; il peut aussi servir à déterminer la représentativité des données historiques.

L'examen détaillé des données historiques peut également servir à redéfinir le projet. Le tableau 3-2 contient des exemples de répercussions que l'examen des données historiques peut avoir sur les tâches d'optimisation subséquentes.

Tableau 3-2 : Exemple de répercussions de l'examen des données historiques sur les tâches d'optimisation subséquentes.

Conclusions de l'examen des données historiques	Répercussions sur les tâches d'optimisation
Le bilan massique ne peut être achevé	Obtenir les renseignements nécessaires
L'écart dans le bilan massique est supérieur à 15 p. 100	Achever l'évaluation des débitmètres ou l'examen de la précision de l'échantillonnage hors ligne
La DBO ₅ ou les concentrations de produits azotés dans l'effluent excèdent les critères	Effectuer l'analyse de la capacité d'aération
Les débits/concentrations du flux de retour ne sont pas disponibles	Inclure l'échantillonnage du flux de recyclage dans le programme de surveillance en différé
Les matières en suspension (MES) de l'effluent est plus élevé que les valeurs théoriques	Effectuer des essais sous contrainte et une analyse hydraulique (essais colorimétriques) pour déterminer les limites de capacité et d'efficacité

Source : tiré de la WEAO (1996).

3.3.3 Représentation graphique de la capacité des procédés unitaires

La représentation graphique de la capacité des procédés en fonction des résultats de l'évaluation de la capacité des principaux procédés d'épuration unitaires utilisés à la STEP est un des résultats de l'examen des données historiques. Le graphique de la capacité des procédés sert à déterminer les goulots d'étranglement qu'on doit éliminer pour

augmenter la capacité de la station. La figure 3-2 illustre un exemple de représentation graphique de la capacité des procédés. On effectue souvent des essais sous contrainte en grandeur réelle à la suite de l'évaluation de la capacité des procédés afin de confirmer la capacité suggérée par l'analyse. Il est à noter que le graphique illustre des normes ou des règles de conception ordinaires qui sont souvent conservatrices.

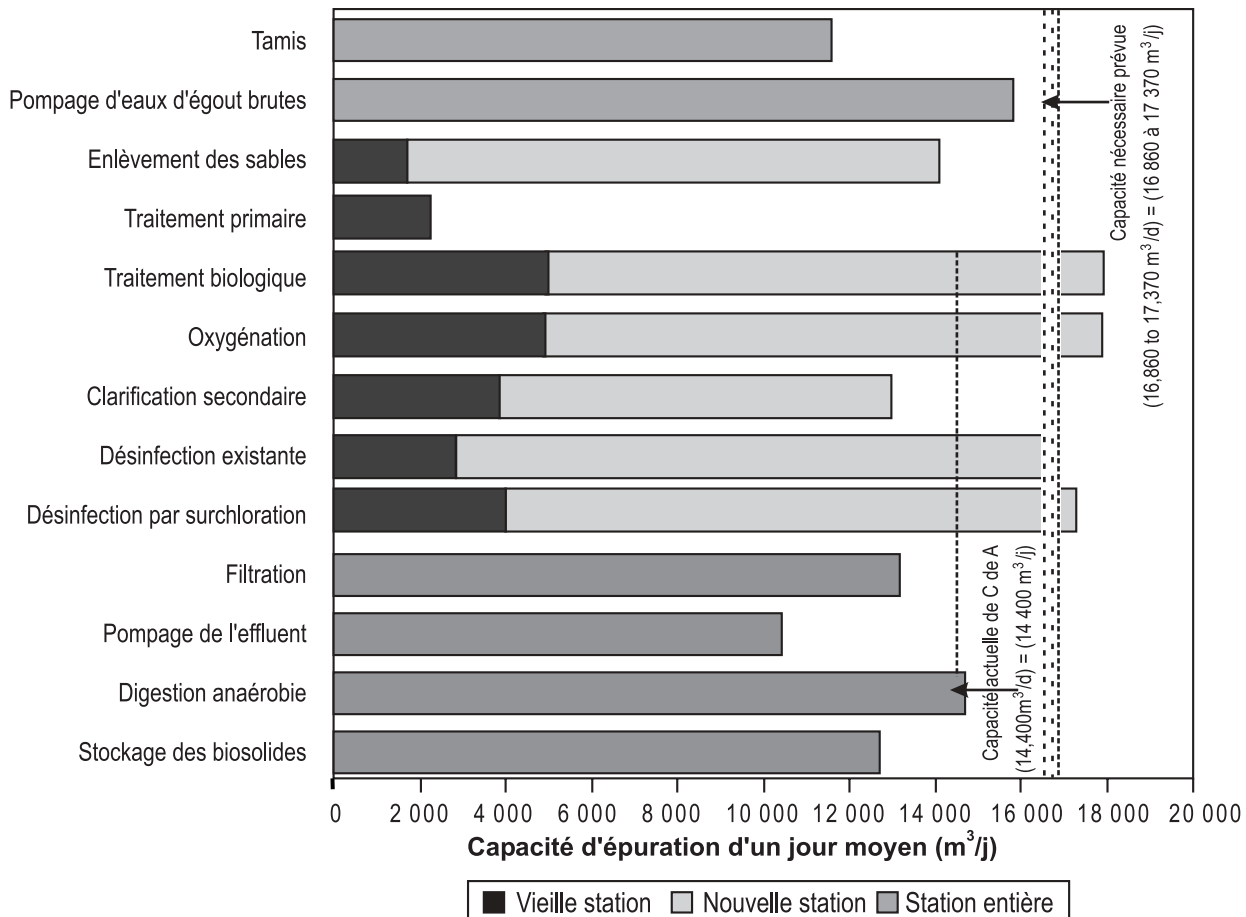
3. Description du travail

3.3 Outils d'évaluation de station

Figure 3-2

Exemple de représentation graphique de la capacité des procédés

Figure 3-2 : Exemple de représentation graphique de la capacité des procédés.



Source: XCG Consultants Ltd. (2002).

3. Description du travail

3.3 Outils d'évaluation de station

Comme première étape de toute évaluation, il faut procéder à une inspection physique et confirmer que les débitmètres sont posés suivant des méthodes d'ingénierie fiables.

3.3.4 Analyse de comptabilisation des boues

L'analyse de comptabilisation des boues est un des résultats de l'examen des données historiques. Il s'agit essentiellement du bilan massique des matières solides de tous les procédés unitaires (les clarificateurs, par exemple) ou de la station globale, qui permet de comptabiliser les matières solides dans le procédé d'épuration. En général, les bilans massiques finals ne sont pas exacts. On considère qu'une divergence d'environ 10 à 15 p. 100 dans la plage est acceptable; cependant, une divergence de plus de 15 p. 100 indique qu'il faut procéder à une évaluation plus poussée pour trouver la cause du manque de cohérence. Parmi les sources répandues d'écart dans l'analyse du bilan massique des matières solides, on retrouve :

- Les échantillons non représentatifs (précision analytique, techniques d'échantillonnage);
- L'imprécision de la surveillance des débits;
- Les répercussions des flux de recyclage périodiques (les limites du bilan doivent être bien définies et toutes les entrées et les sorties doivent être comptabilisées dans le bilan massique); et
- Les hypothèses concernant les accumulations.

Le personnel d'exploitation de la station doit effectuer régulièrement une analyse de comptabilisation des boues pour vérifier l'exactitude des mesures de débit et des données analytiques.

3.3.5 Référenciation des coûts d'exploitation et de la dotation en personnel

Quand un des objectifs du programme d'optimisation consiste à réduire les coûts d'exploitation, il faut comparer les coûts historiques d'exploitation et d'entretien de la station avec ceux d'autres stations de même taille. Cela permet de déterminer l'ampleur des possibilités de réduction des coûts relatifs à l'énergie, aux produits chimiques, à l'élimination des boues et à la main-d'œuvre, qui sont les volets les plus importants des coûts d'exploitation. On peut trouver des renseignements sur la référenciation des coûts de ressources (énergie, produits chimiques, eau)

dans le *Guide to Resource Conservation and Cost Savings Opportunities in the Water and Wastewater Sector* (MEO, 1997). On peut trouver des données de référencement plus détaillées dans le document intitulé *Benchmarking Wastewater Operations: Collection, Treatment and Biosolids Management* (WERF, 1997).

3.3.6 Évaluation des débitmètres

L'évaluation et l'étalonnage sur place des débitmètres de la station sont importants puisque l'évaluation des données historiques et de la capacité des procédés unitaires repose sur l'hypothèse selon laquelle les débits enregistrés sont représentatifs de l'historique de l'exploitation de la station. Comme première étape de toute évaluation, il faut procéder à une inspection physique et confirmer que les débitmètres sont posés suivant des méthodes d'ingénierie fiables. Il faut vérifier toute question concernant la pose des débitmètres et les données de débit avant de passer à d'autres investigations. La comptabilisation des boues peut également servir à évaluer la possibilité que les lectures des débitmètres soient erronées.

Un certain nombre de méthodes peuvent servir à l'évaluation des mesures de débit et à l'étalonnage des instruments, notamment :

- L'enregistrement du temps de fonctionnement des pompes et l'estimation des débits à partir de la capacité ou de la courbe des pompes;
- L'injection d'une substance de dépistage dans le flux à un taux constant et connu, en amont du débitmètre, et la détermination de la concentration du traceur dans des échantillons prélevés en aval;
- L'abaissement du niveau du liquide dans un bassin ou un réservoir et l'enregistrement de la lecture du compteur durant le remplissage;
- La mesure du débit à l'aide d'un compteur redondant dans le but de procéder à l'étalonnage d'un compteur suspect sur une plage de débits; et
- La modélisation hydraulique dans le but d'établir la relation entre la charge hydraulique et le débit dans le cas de canaux de jaugeage et de déversoirs non standard.

3.3.7 Surveillance continue

La collecte de données type à une STEP se fait à l'aide d'une combinaison d'échantillons instantanés et d'échantillons composites. Les échantillons de ce type ne permettent pas de déterminer les conditions dynamiques qui prévalent dans la station. La surveillance continue en ligne nécessite l'utilisation d'instruments installés de façon temporaire ou permanente pour mesurer la charge des procédés et les paramètres d'efficacité, et d'un système d'acquisition de données pour collecter des données de procédés en temps réel. Celles-ci permettent de déterminer les diverses relations dynamiques qui existent dans la station, telles que :

- L'incidence des à-coups hydrauliques sur l'efficacité des procédés;
- Le cisaillement du floc causé par une variation extrême du débit d'air de procédé;
- La détérioration de la qualité de l'effluent causée par les charges diurnes; et
- Les variations de la concentration des boues activées de retour.
- Les perturbations ou les instabilités de procédés de soutirage latéral de solides, tels que le liquide surnageant de digesteur ou la déshydratation des biosolides.

Les données de surveillance en ligne ont également servi à déterminer les économies possibles d'énergie et de produits chimiques aux STEP. Les débits de boues de clarificateur primaire, de boues activées de retour (BAR) et de boues activées excédentaires (BAE) sont des variables de procédé qu'il est utile de mesurer en ligne et ils sont importants pour la comptabilisation des matières solides. La mesure des débits des flux de recyclage interne tels que le liquide surnageant du digesteur, le filtrat ou le centrat de la déshydratation et la surverse d'épaisseur est également avantageuse. Le tableau 3-3 indique certaines variables de procédés ordinairement mesurées en ligne à l'aide d'instruments (WEAO, 1996).

Tableau 3-3 : Variables de procédés mesurables en ligne.

Catégorie	Mesures
Débits de procédés	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eaux usées (influent et effluent) ■ Boues du clarificateur primaire ■ BAR ■ BAE ■ Débit des biosolides ■ Débit d'air de procédé ■ Taux de comptage chimique
Paramètres de procédé	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concentration des MSSLM ■ Concentration des matières solides en suspension dans les BAR/BAE ■ Concentration de l'oxygène dissous ■ Concentration des matières solides en suspension dans l'effluent ■ Épaisseur du lit de boues ■ pH ■ Ammoniac-Azote ■ Nitrite/Nitrite-azote ■ Orthophosphate ■ Conductivité ■ Transmissibilité des rayons ultraviolets

On encourage le recours à la surveillance en ligne chaque fois que celle-ci est possible, à cause de l'avantage que l'accès à des données en temps réel constitue pour le personnel d'exploitation; on reconnaît toutefois qu'il se peut que la surveillance en ligne ne soit pas possible dans le cas des très petites STEP. On encourage quand même les responsables de stations de ce type à surveiller l'exploitation en procédant régulièrement à des échantillonnages et à des analyses. On doit élaborer un calendrier d'échantillonnage et d'analyse, y compris la liste des paramètres à analyser de façon quotidienne ou hebdomadaire. On peut par exemple analyser les concentrations de matières solides en suspension dans la liqueur mixte ou l'effluent en prélevant chaque jour

3. Description du travail

3.3 Outils d'évaluation de station

Tableau 3-3
Variables de procédés mesurables en ligne

La mesure des débits des flux de recyclage interne tels que le liquide surnageant du digesteur, le filtrat ou le centrat de la déshydratation et la surverse d'épaisseur est également avantageuse.

3. Description du travail

3.3 Outils d'évaluation de station

3.4 Outils d'analyse de procédés

L'aération est un des procédés les plus fondamentaux et les plus coûteux de l'épuration biologique aérobie des eaux usées, et elle représente à elle seule jusqu'à 75 p. 100 de la consommation énergétique totale de la station.

des échantillons instantanés ou composites. Dans le cas des paramètres qui ne changent pas rapidement, tels que les données relatives à la qualité des boues (les concentrations de matières solides dans les BAR et les BAE, par exemple), l'échantillonnage peut avoir lieu une fois par jour ou une fois par semaine. On peut également prélever des échantillons instantanés qui permettront de contrôler les variations des paramètres de procédés tout au long de la journée. Selon la règle de l'art, on doit surveiller en ligne ceux des paramètres qui fluctuent plus rapidement, tels que les concentrations d'oxygène dissous dans les bassins d'aération, ou les débits de procédés (que l'on nomme aussi bioréacteurs).

3.3.8 Surveillance en différé

On effectue la surveillance en différé dans le but de suppléer aux données historiques relatives à la station ou d'obtenir des données qui ne sont pas traditionnellement collectées à la station, mais qui sont importantes pour les besoins de l'évaluation de la STEP. Celles-ci peuvent inclure les paramètres analytiques ou les flux internes de la station qui ne font l'objet d'aucune surveillance périodique de la part du personnel de la station.

On peut procéder à l'examen au microscope de la masse biologique pour déterminer l'état général du système et détecter les problèmes possibles, tels que le gonflement des boues causé par des bactéries filamenteuses. On effectue généralement des essais de floculation dans le but d'évaluer et d'optimiser l'ajout de coagulant ou de produits chimiques aux eaux usées en vue d'améliorer la sédimentation ou la précipitation d'un élément quelconque contenu dans ces eaux (l'élimination du phosphore, par exemple). On peut effectuer des essais supplémentaires en laboratoire ou sur le terrain pour évaluer l'efficacité d'un procédé unitaire en particulier, tels que des essais en colonne de décantation, le contrôle et le profilage de l'oxygène dissous, la vitesse d'absorption d'oxygène, l'indice de volume des boues (IVB) et le contrôle du lit de boues.

3.4 Outils d'analyse de procédés

Divers essais peuvent servir à optimiser une STEP. Les outils d'analyse de procédés servent à déterminer des façons rentables d'améliorer la capacité de la station et de respecter des prescriptions plus strictes relativement à l'effluent sans avoir à exécuter des travaux d'immobilisations importants. On peut également les utiliser dans les stations dont l'évaluation globale des performances a révélé qu'elles étaient incapables de respecter les limites de conformité au débit actuel en raison de défauts de conception.

La boîte à outils d'essais porte souvent le nom de « vérification des procédés ». Dans le cas d'une STEP, la vérification peut mener à l'optimisation de la station en ce qui a trait à la capacité, au coût d'exploitation et aux performances. La Water Environment Association of Ontario (WEAO) a publié *The Guidance Manual for Sewage Treatment Plant Liquid Train Process Audits* (WEAO, 1996), une ressource précieuse pour tout propriétaire ou exploitant de STEP qui entreprend un programme d'optimisation de la station. Malheureusement, aucun guide de ce genre n'a encore été élaboré visant particulièrement le procédé unitaire du traitement des boues.

3.4.1 Analyse de la capacité et de l'efficacité du système d'aération

L'aération est un des procédés les plus fondamentaux et les plus coûteux de l'épuration biologique aérobie des eaux usées, et elle représente à elle seule jusqu'à 75 p. 100 de la consommation énergétique totale de la station. Un transfert inadéquat d'oxygène risque d'entraîner la détérioration de la qualité de l'effluent parce que la quantité d'oxygène présente ne suffira alors pas à satisfaire la demande biologique en oxygène et la demande en oxygène endogène de la masse biologique. On effectue l'analyse de la capacité du système d'aération pour évaluer la capacité du système et déterminer les possibilités de réaliser des économies d'énergie.

Les deux techniques les plus souvent utilisées pour vérifier l'efficacité du transfert d'oxygène in situ sont l'analyse du dégagement gazeux et les essais au dioxidane. Les résultats des essais servent à comparer la capacité d'aération existante avec les demandes en oxygène actuelle et future (ou possibles). La comparaison sert ensuite à évaluer la capacité du système d'aération relativement à l'augmentation des charges et aux possibilités d'un traitement plus poussé (la nitrification, par exemple), et à évaluer la possibilité pour la station de réaliser des économies d'énergie. Pour obtenir de plus amples renseignements sur les essais relatifs au transfert d'oxygène et les protocoles d'essais, le lecteur est prié de se reporter au *Standard Guidelines for In-Process Oxygen Transfer Testing* (ASCE, 1997) de l'American Society of Civil Engineers.

3.4.2 Modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique nécessite l'élaboration des relations entre la perte de charge et le débit dans le cas des sections de contrôle hydraulique et le calcul de l'eau arrêtée dans le cas des sections dues à un écoulement libre entre les sections de contrôle. Une fois étalonné, le modèle hydraulique peut servir à :

- Déterminer la capacité hydraulique d'une station existante;
- Repérer les goulots d'étranglement hydrauliques et à examiner la possibilité de recourir à d'autres stratégies de réduction des limitations hydrauliques qui ont été déterminées;
- Déterminer les déséquilibres de débits et à étudier des méthodes servant à améliorer la répartition des débits entre les procédés unitaires parallèles; et
- Déterminer les gradients de célérité et à déterminer les endroits optimaux où ajouter des produits chimiques.

3.4.3 Analyse du flux de recyclage des boues

Le flux de recyclage du traitement des boues est souvent responsable de problèmes qui surviennent dans le train liquide d'une STEP. Le flux peut faire augmenter le chargement

organique de cinq à cinquante pour cent, selon le type et le nombre de procédés de traitement des matières solides utilisés. On trouvera ci-après certaines solutions susceptibles de minimiser ou d'éliminer les répercussions du flux de recyclage de la manutention des boues sur le train liquide.

- Modification des procédés de manutention des matières solides dans le but d'améliorer la qualité du flux de recyclage.
- Modification de la cadence, du taux de retour ou du point de retour du flux de recyclage dans le but de minimiser les répercussions.
- Modification du train liquide de manière à prendre le flux de recyclage en charge.
- Traitement séparé du flux de recyclage des matières solides.

L'analyse du flux de recyclage provenant du traitement des boues (le surnageant de digesteur, la déshydratation du centrat ou filtrat) peut aussi fournir une indication que ces procédés pourraient tirer avantage de l'optimisation.

3.4.4 Essais sous contrainte

On effectue des essais sous contrainte pour déterminer le taux de charge auquel l'efficacité d'un procédé approche la valeur théorique, de même que le taux de charge qui cause la défaillance du procédé. On peut utiliser les augmentations de débit diurnes ou par temps de pluie pour mettre sous contrainte les procédés unitaires qui sont touchés par l'hydraulique, tels que les clarificateurs. Il est possible d'augmenter les taux de charge hydraulique et organique des procédés unitaires en faisant varier le nombre d'unités en service ou en biaisant le débit qui alimente la cellule à l'essai.

Les essais sous contrainte n'ont généralement pas lieu tant qu'il n'y a pas eu de défaillance du procédé, en raison des répercussions possibles sur la conformité. Avant d'entreprendre les essais, on doit élaborer un plan qui permettra de cerner les conséquences possibles de la mise sous contrainte d'un procédé unitaire précis, la surveillance qui permettra d'évaluer le

3. Description du travail

3.4 Outils d'analyse de procédés

Tableau 3-4

Résumé des paramètres de conception de procédés unitaires et des critères d'évaluation types

rendement du procédé, et les mesures qui seront prises dans le cas où la défaillance du procédé semble imminente. Il faut aussi à tout prix prendre en compte la nécessité d'informer l'organisme de réglementation pertinent de la tenue de l'essai.

Le tableau 3-4 résume les paramètres de conception de procédés unitaires et les critères d'évaluation types qui sont utilisés durant un essai sous contrainte.

On ne fait généralement pas d'essais sous contrainte de la digestion des boues étant donné la réaction lente aux changements des conditions et à la longue période de récupération qui suit un renversement des procédés causé par ces essais.

Tableau 3-4 : Résumé des paramètres de conception de procédés unitaires et des critères d'évaluation types.

Procédé unitaire	Paramètres de conception	Critères d'évaluation
Clarificateur primaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vitesse de déversement en surface 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Économies en matière d'enlèvement ■ Épaisseur du lit de boues ■ Temps réel de détention
Clarificateur secondaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vitesse de déversement en surface ■ Taux de charge des matières solides 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Critères de qualité de l'effluent ■ Épaisseur du lit de boues
Boues activées (y compris l'aération)	<ul style="list-style-type: none"> ■ TRH/TSB ■ Taux de charge organique/azoté ■ Ratio nourriture-micro-organismes ■ Ratio de recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Critères de qualité de l'effluent ■ Concentration d'oxygène dissous ■ IVB/IVSS ■ TASO
Filtration de l'effluent	<ul style="list-style-type: none"> ■ Taux de charge hydraulique et des matières solides 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Critères de qualité de l'effluent ■ Perte de charge ■ Concentration des matières solides dans les boues de rinçage
Désinfection (chloration/rayons UV)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dosage de CL_2 ■ Temps de séjour ■ Matières solides dans l'effluent ■ Transmissivité des rayons UV 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résidu du chlore ■ Concentrations bactériennes (totales/colibacilles fécaux, E.coli)
Épaississement et déshydratation des boues	<ul style="list-style-type: none"> ■ Taux de charge hydraulique et des matières solides ■ Dosage chimique (si applicable) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concentration de matières solides dans les boues ■ Qualité des eaux recyclés
Digestion des boues (aérobie ou anaérobie)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Temps de séjour hydraulique ■ Temps de séjour des solides 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gaz produits par la digestion anaérobie ■ Destruction des solides volatiles ■ Destruction de pathogènes ■ Qualité du liquide surnageant ■ Concentration de biosolides

Source : tiré de la WEAQ (1996).

3.4.5 Essais hydrauliques de clarificateur

Les essais hydrauliques de clarificateur servent à évaluer les caractéristiques hydrauliques du bassin et à déterminer les méthodes qui peuvent servir à en augmenter la capacité hydraulique. L'essai colorimétrique du clarificateur, qu'on appelle aussi l'essai colorimétrique de Crosby, est un essai qualitatif qui prévoit l'utilisation d'un colorant pour vérifier le schéma hydraulique du clarificateur (Crosby, 1987). L'essai comporte deux éléments : l'essai de dispersion et l'essai de répartition du schéma hydraulique ou des matières solides.

L'essai de dispersion requiert l'injection d'un colorant en amont du clarificateur et l'échantillonnage de l'effluent pendant un temps donné. Il sert à déterminer le temps de séjour hydraulique réel, à estimer le degré de court-circuitage hydraulique et à déterminer les moments de l'échantillonnage relatifs à l'essai du schéma hydraulique.

L'essai de répartition du schéma hydraulique ou des matières solides requiert l'injection continue à débit constant d'un colorant dans l'écoulement qui pénètre dans le clarificateur. On prélève ensuite à plusieurs profondeurs et à plusieurs endroits dans le corps du clarificateur des échantillons qui permettent d'obtenir des « vues instantanées » du mouvement du colorant. On contrôle les concentrations de TSS à chaque endroit et à chaque profondeur. Les essais de schéma hydraulique servent à évaluer la répartition spatiale de l'écoulement à travers le clarificateur, y compris l'emplacement des zones d'eau stagnante, les courants de densité et l'effet possible de certains agencements de chicanes.

On peut également utiliser des modèles hydrodynamiques de haute technicité pour simuler les schémas hydrauliques d'un clarificateur et évaluer l'effet de diverses modifications physiques (chicanes d'entrée, chicanes de déversoir, etc.) sur les performances du bassin ou prédire les répercussion de débits élevés, de taux élevés de chargement de solides ou d'une mauvaise décantabilité. Des modèles bidimensionnels et des modèles en trois dimensions complexes ont servi avec succès à améliorer les performances des clarificateurs (Ekama et coll, 1994).

3.4.6 Autres tests de diagnostic de clarificateur

Bien que l'IVB et l'IVSS soient les outils le plus souvent utilisés pour déterminer la décantabilité des boues biologiques, certains autres outils de diagnostic, tels que la State Point Analysis (Keinath, 1985) et la vérification des matières en suspension dispersées (MSD) ou des matières en suspension floculées (MSF) (Wahlberg *et coll.*, 1995), peuvent donner un aperçu des causes des mauvaises performances d'un clarificateur secondaire. La State Point Analysis (SPA) permet de savoir si le clarificateur fonctionne en état de surcharge et d'avoir une idée des mesures opérationnelles qui permettraient d'éliminer le problème. La vérification des MSD/MSF indique si les mauvaises performances du clarificateur secondaire sont liées à une mauvaise floculation des matières solides ou à la médiocrité de l'hydraulique du clarificateur.

3. Description du travail

3.4 Outils d'analyse de procédés

3. Description du travail

3.4 Outils d'analyse de procédés

3.4.7 Essais de mélange

Les essais de mélange servent à évaluer les caractéristiques hydrauliques des bassins de procédés unitaires lorsqu'on soupçonne la présence de problèmes de mélange; ils servent également à évaluer les équipements de mélange, l'agencement des équipements et la géométrie. Les résultats de l'essai peuvent servir à :

- Détecter le court-circuitage hydraulique;
- Définir les caractéristiques de mélange;
- Repérer les zones d'eau stagnante à l'intérieur du volume de fluide;
- Évaluer l'efficacité de certains agencements de chicanes; et
- Déterminer les schémas hydrauliques qui prédominent dans le procédé unitaire.

Les essais de brassage sont tout particulièrement utiles dans les bassins de digestion du fait que l'écume, le sable et d'autres matières peuvent s'y accumuler et provoquer des court-circuits et une diminution du volume actif du réacteur. L'amélioration du brassage permet dans bien des cas d'intensifier l'élimination des matières volatiles et d'améliorer la qualité des biosolides.

Bien que l'on puisse utiliser avec succès les liquides fluorescents lors des essais de brassage dans les clarificateurs ou les chambres de traitement au chlore, l'indicateur privilégié dans les digesteurs est le chlorure de lithium. Les méthodes d'essai et d'analyse des données sont exposées dans l'ouvrage de Monteith et Stephenson, 1984.

3.4.8 Modélisation et simulation de procédés

Les modèles de procédé sont des outils efficaces qu'on peut utiliser pour déterminer les conditions d'exploitation optimales. Celles-ci peuvent inclure le temps de rétention hydraulique (TRH) et le temps de séjour de la boue (TSB), et la capacité du système à respecter un ensemble donné de critères de qualité de l'effluent. On peut trouver des

modèles pour bon nombre des procédés biologiques répandus, tels que les boues activées, l'aération prolongée, les réacteurs discontinus à séquençage, les disques biologiques et les lits bactériens.

La modélisation et la simulation dynamique d'un procédé peuvent servir à ce qui suit :

- Estimation de la capacité du procédé;
- Repérage des goulots d'étranglement;
- Analyse des modifications de la charge hydraulique;
- Optimisation du fonctionnement du système d'aération;
- Optimisation du volume de boues recyclées ou excédentaires;
- Optimisation de la séquence opérationnelle des systèmes de réacteurs discontinus;
- Réduction des incidences des dérivations;
- Évaluation de stratégies de conception de rechange;
- Gestion du débit de temps de pluie;
- Estimation de la production de boues; et
- Conception de configurations de réacteurs relatives à l'élimination biologique des nutriments (EBN).

Le modèle dynamique simule les variations qui se produisent tout au long du cycle diurne et suit les effets des variations sur l'efficacité des procédés. On emploie également la modélisation pour simulation de procédés pour établir la capacité des composants biologiques de la station d'épuration des eaux usées et modéliser les effets des modifications des procédés sur la capacité ou les performances de la station. Les travaux récents ont porté surtout sur l'établissement d'un lien entre les modèles dynamiques et les systèmes d'acquisition et de contrôle des données (SCADA), et les systèmes de gestion des données de laboratoire (LIMS) dans le but d'améliorer encore plus l'exactitude et la valeur des prévisions faites par ces systèmes (Irrinki et coll., 2002).

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

3.5.1 Améliorations de l'exploitation et de l'entretien

L'amélioration des procédures de contrôle des procédés et leur adaptation à la STEP peuvent toutes deux améliorer l'efficacité des procédés et permettre de réaliser des économies. La première étape de l'optimisation d'une STEP consiste à établir un calendrier des essais de contrôle des procédés qui permettra de surveiller les paramètres de contrôle, notamment, mais de façon non limitative, la sédimentation des boues, la masse des boues, l'extraction de boues, la concentration et le débit de recirculation des boues, et l'oxygène dissous dans les bassins d'aération. Il faut également prévoir la formation en cours d'emploi des conducteurs d'installation en rapport avec les prélèvements d'échantillons et les essais nécessaires au contrôle des procédés, de même qu'avec les calculs de contrôle de procédé.

La formalisation de la tenue de dossiers permet généralement d'améliorer les pratiques d'entretien. Il est suggéré de suivre la procédure en quatre étapes décrite ci-après, pour élaborer un système de tenue des dossiers d'entretien.

- Dresser l'inventaire de tout le matériel.
- Rassembler les renseignements sur l'entretien et les calendriers fournis par les fabricants pour tout le matériel;
- Remplir les fiches sommaires de renseignements relatives à tout le matériel.
- Préparer un calendrier temporel d'entretien préventif.

Il faut mettre la liste du matériel à jour lorsqu'on ajoute de nouveaux équipements à la station. Le calendrier d'entretien doit inclure les listes de contrôle quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles, trimestrielles, semestrielles et annuelles des tâches d'entretien requises.

Dans le cas d'une grande station, un système informatisé de gestion de l'entretien (SIGE) pourra optimiser la fonction d'entretien de façon rentable. Grâce à la technologie de l'information (TI), il est possible de créer un lien entre les renseignements sur le contrôle des procédés, le système SCADA, le SIGE, les données de laboratoire et les autres renseignements de façon que le personnel puisse accéder en direct et en temps réel à tous les renseignements clés.

Il faut élaborer un plan de dotation en personnel (Daigger et Buttz, 1992) qui permettra de déterminer si la station manque de personnel ou le moment auquel d'importantes nouvelles installations s'y ajoutent. On peut obtenir de diverses sources l'information de référencement qui permettra d'évaluer les besoins de dotation en personnel (WERF, 1997).

La formation du personnel peut aider à améliorer les performances de la station (dans la mesure où elle se rapporte à de mauvaises pratiques opérationnelles), à régler les problèmes de sécurité et à améliorer le moral des employés. On doit tenir compte du fait que c'est la formation en milieu de travail qui constitue le moyen le plus efficace de perfectionner la capacité d'un conducteur d'installation d'appliquer les concepts d'épuration des eaux usées correctement au contrôle des procédés. Il faut encourager le personnel d'exploitation à améliorer ses connaissances en matière d'épuration des eaux d'égout en prévoyant un budget pour la composante enseignement de la formation et la certification. L'assistance technique globale permet d'éliminer de façon systématique les facteurs qui nuisent au rendement des employés dans les STEP existantes. Les facilitateurs de l'assistance technique globale collaborent avec les conducteurs d'installation et les gestionnaires de station à l'élaboration d'activités de contrôle de procédé et au transfert de compétences et de connaissances.

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

Il faut encourager le personnel d'exploitation à améliorer ses connaissances en matière d'épuration des eaux d'égout en prévoyant un budget pour la composante enseignement de la formation et la certification.

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

Tableau 3-5

Cas d'utilisation de l'automatisation dans les STEP

Tableau 3-5 : Cas d'utilisation de l'automatisation dans les STEP.

Procédé/Cellule	Cas d'utilisation
Épuration préliminaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nettoyage automatique des grilles en fonction de la perte de charge, du débit total épuré ou d'une minuterie
Épuration primaire améliorée chimiquement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Commande de dosage de produits chimiques proportionnel au débit ■ Contrôle en ligne de la turbidité ou des matières solides en suspension dans l'effluent ■ Contrôle automatisé du pompage des boues selon la densité des boues ■ Contrôle automatisé du pompage des boues selon l'épaisseur du lit de boues
Épuration biologique	<ul style="list-style-type: none"> ■ Respirométrie en ligne ■ Mesure en ligne de la charge de DBO ■ Contrôle automatisé de l'âge des boues (TSB) ■ Contrôle automatisé de la production biologique de boues excédentaires ■ Contrôle automatisé de l'Eh dans le contrôle des procédés d'élimination biologique des nutriments ■ Mesure en ligne de la concentration de MSSLM ■ Surveillance et contrôle en ligne de l'oxygène dissous ■ Mesures en ligne des concentrations de $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$ et de $\text{PO}_4\text{-P}$
Clarificateur secondaires	<ul style="list-style-type: none"> ■ Analyse en ligne des TSS ou de la turbidité de l'effluent
Filtres tertiaires	<ul style="list-style-type: none"> ■ Surveillance en ligne de la turbidité ou de la concentration de phosphore ■ Surveillance en ligne de la perte de charge
Système d'aération	<ul style="list-style-type: none"> ■ Commande automatisée des soufflantes à l'aide de capteurs en ligne de la teneur en oxygène dissous ■ Commande marche-arrêt de l'aération ■ Commande à vitesse variable des aérateurs mécaniques
Désinfection i) Chloration/déchloration ii) irradiation au rayon UV	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dosage des produits chimiques proportionnel au débit ■ Contrôle automatisé du résidu de chlore ■ Contrôle automatisé de l'Eh ■ Surveillance et commande de l'intensité des rayons UV ■ Régulation des lampes UV selon le débit ■ Lancement de l'autonettoyage automatique
Épaississement ou déshydratation des boues	<ul style="list-style-type: none"> ■ Régulation automatique de l'ajout de produits chimiques en fonction du débit ■ Commande automatique du dosage intensif de l'ajout de produits chimiques ■ Surveillance automatique de la teneur en matières solides du flux liquide ■ Commande automatique du dosage de produits chimiques selon les propriétés de floculation
Digestion	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contrôle automatisé de la distribution des boues vers des réacteurs multiples selon le débit ou la charge massive des solides ■ Surveillance en ligne de la qualité du liquide surnageant

Source : WERF (2002).

3.5.2 Instrumentation, contrôle-commande et automatisation

L'automatisation des opérations d'épuration des eaux usées peut offrir d'importantes possibilités de réduire les coûts et d'améliorer l'efficacité et la fiabilité des opérations. En ajoutant les mesures relatives aux procédés, on améliore l'information sur laquelle le conducteur d'installation pourra fonder ses opinions et mettre en œuvre ses décisions de contrôle. On peut aussi maintenir l'efficacité de l'exploitation à l'aide de contrôles automatisés. L'optimisation des procédés grâce à l'utilisation de mesures et de contrôles de rétroaction en ligne peut réduire de façon notable les quantités de produits chimiques, d'énergie et d'eau utilisées, de même que la production de déchets résiduels qui doivent être épurés et éliminés (WEF, 1997). Les économies peuvent être plus importantes dans le cas des installations dont la qualité et le débit des eaux usées varient fortement. Le tableau 3-5 résume certains exemples de cas d'utilisation de l'automatisation conformes à la règle de l'art.

L'instrumentation et le contrôle-commande (IC) à une STEP peuvent renseigner le conducteur d'installation sur l'état du matériel, fournir des mesures en temps réel des paramètres de procédés, permettre la commande automatique du matériel (p. ex. la mise en marche ou l'arrêt d'équipements) et signaler les états d'alarme. Il est possible de moderniser diverses parties d'un système d'IC. On peut par exemple mettre les éléments primaires à niveau en ajoutant les mesures relatives aux procédés; on peut aussi améliorer le matériel et le logiciel de contrôle-commande en ajoutant des alarmes qui font que le passage à un équipement de secours se fait automatiquement en cas de panne. Il est possible d'améliorer le système général de contrôle des procédés dans le cas d'une STEP dont le système d'IC est démodé. En cas d'urgence, des contrôleurs automatiques peuvent assurer le transfert à du matériel de secours. Toutes les fonctions de contrôle-commande essentielles doivent comporter une procédure de secours à commande manuelle. Pour qu'il soit possible de profiter des avantages offerts par l'automatisation, il est essentiel de disposer d'un personnel adéquat qui verra à l'étalonnage et à l'entretien des instruments.

Les stratégies de contrôle automatisé de procédés unitaires déterminés sont traitées en détail dans la publication spéciale de la WEF intitulée *Automated Process Control Strategies* (WEF, 1997) et dans le rapport publié récemment par la WEF et intitulé *Sensing and Control Systems: A Review of Municipal and Industrial Experiences* (WEF, 2002).

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

Pour qu'il soit possible de profiter des avantages offerts par l'automatisation, il est essentiel de disposer d'un personnel adéquat qui verra à l'étalonnage et à l'entretien des instruments.

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

Tableau 3–6

Façons possibles d'aborder l'optimisation des procédés d'épuration.

Procédé	Façon d'aborder l'optimisation	
Hydraulique de la station	<ul style="list-style-type: none"> ■ Éliminer les surpressions causées par le fonctionnement du poste de pompage ■ Contrôle de l'I-EC 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stockage du système et contrôles en temps réel
Épuration préliminaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Moderniser les grilles et améliorer le contrôle ■ Améliorer l'hydraulique dans les réservoirs de dessablage 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer le dessablage et la manutention du sable
Épuration primaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimiser l'utilisation de produits chimiques ■ Améliorer l'hydraulique 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer l'élimination des écumes et des boues ■ Éliminer la co-sédimentation des boues activées excédentaires
Épuration biologique	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer la souplesse du procédé ■ Optimiser l'élimination de la DBO₅ ■ Optimiser la nitrification ■ Mettre en œuvre l'EBN 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimiser le transfert d'oxygène ■ Mettre en œuvre l'alimentation étagée ■ Mettre en œuvre des mesures de contrôle des écumes et des boues
Clarificateur secondaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer la division du flux ■ Éliminer les surpressions hydrauliques ■ Améliorer les modèles hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contrôler le gonflement des boues ■ Améliorer la souplesse des BAR/BAE
Filtration tertiaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimiser l'utilisation de produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimiser le lavage à contre-courant
Désinfection	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer le mélange 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mettre en œuvre la commande automatique
Épaississement et déshydratation des boues	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimisation du dosage et des sortes de produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> ■ La gestion séparée des boues primaires et des boues activées de retour (BAR)
Digestion aérobie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimiser le transfert d'oxygène ■ Optimiser la sédimentation afin d'augmenter l'épaisseur des boues et améliorer la qualité du liquide surnageant 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer le mélange ■ Augmenter la concentration des boues fraîches
Digestion anaérobie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer le mélange ■ Augmenter la température afin d'améliorer la destruction des solides volatils 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Améliorer la distribution de la charge entre multiples réservoirs ■ Augmenter la concentration des boues fraîches ■ Utiliser le biogaz comme pouvoir calorifique

Nota : On trouvera à l'annexe B le traitement plus détaillé de ces façons d'aborder l'optimisation.

3.5.3 Modifications des procédés d'épuration

Il est possible d'apporter diverses modifications selon le procédé unitaire à l'étude et le facteur précis limitant les performances qu'on a déterminé à l'étape de l'évaluation de la station. Le tableau 3–6 résume, pour chaque procédé, certaines des possibilités d'optimisation qu'il serait possible d'examiner en vue d'augmenter la capacité, d'améliorer l'efficacité ou de réduire les coûts

liés à l'utilisation de produits chimiques ou à la consommation énergétique.

On trouvera à l'annexe B le traitement plus détaillé de la façon dont les possibilités mentionnées ci-dessus et d'autres possibilités d'optimisation pourraient être mises en œuvre dans chaque procédé unitaire. Le lecteur doit se reporter à l'annexe B pour y trouver le traitement des façons possibles d'aborder l'optimisation des procédés unitaires

particuliers qui constituent sa STEP ou connaître les procédés unitaires dont on a déterminé à l'étape de l'évaluation de la station qu'ils limitaient les performances ou réduisaient la capacité globale de la station.

3.5.4 Économies de coûts de ressources

La consommation énergétique liée à l'épuration des eaux usées peut constituer une partie importante des coûts d'exploitation annuels. Une partie importante de l'information présentée dans le présent article est tirée du *Guide to Resource Conservation and Cost Savings Opportunities in the Water and Wastewater Sector* (MEO, 1997).

Le lecteur doit consulter ce document pour trouver de plus amples détails sur les possibilités de réaliser des économies de coûts de ressources dans une STEP.

Moteurs à haut rendement/Entraînements à vitesse variable

On trouve dans de nombreuses installations des pompes inefficaces et des moteurs conçus et posés il y a des années, à une époque où les contraintes et les exigences relatives au système étaient très différentes de ce qu'elles sont de nos jours. Le rendement des moteurs est maintenant beaucoup plus élevé que celui sur lequel on pouvait compter il y a seulement 10 ans. Il est par conséquent possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en remplaçant les vieux moteurs des équipements existants. En utilisant des entraînements à vitesse variable, on peut optimiser le fonctionnement des pompes en faisant correspondre les besoins d'énergie aux besoins de pompage.

C'est lorsqu'on doit remplacer des moteurs existants et qu'il existe des moteurs à haut rendement ou des entraînements à vitesse variable qui conviennent au cas d'utilisation en cause qu'on obtient le délai de récupération le plus attrayant. Les économies d'énergie sont également plus élevées dans une station dont la demande de pointe est élevée et où les pompes existantes sont appelées à fonctionner à l'extérieur de la plage de fonctionnement efficient. L'exploitant

de la station doit s'assurer que les pompes fonctionnent au point le plus efficient de la courbe de fonctionnement.

Exploitation durant les heures creuses

Durant les périodes de demande de pointe, la demande d'énergie et les frais de consommation peuvent être plus élevés que durant les périodes hors pointe. Lorsqu'il est possible de le faire, l'exploitation des procédés existants durant les périodes creuses peut entraîner une réduction importante des coûts d'énergie. Le transfert de la demande aux périodes hors pointe ne requiert que des modifications d'ordre opérationnel (c.-à-d. aucun investissement de capitaux) et la récupération peut par conséquent être immédiate. Même si le coût de l'énergie est faible, ce n'est pas toujours le cas de la quantité d'énergie consommée lorsque la station est exploitée durant les heures creuses. On n'obtiendra une réduction de la consommation énergétique que si les plages de fonctionnement du matériel des procédés sont mieux adaptées au fonctionnement de plus faible intensité et de plus longue durée qu'on obtient en transférant le fonctionnement aux périodes hors pointe.

La technique est applicable dans toute la station. L'avantage qu'on peut en tirer varie selon le type de procédé, le stockage disponible et la conception de la station qui fait l'objet de l'examen. Il convient de noter que les petites stations ne sont pas nécessairement munies de compteurs d'électricité avec indicateur de maximum ou qu'elles n'ont pas nécessairement accès à des tarifs réduits. La technique ne permettra donc pas de réaliser des économies de consommation ou de coût d'énergie dans le cas de ces stations.

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder
l'optimisation

C'est lorsqu'on doit remplacer des moteurs existants et qu'il existe des moteurs à haut rendement ou des entraînements à vitesse variable qui conviennent au cas d'utilisation en cause qu'on obtient le délai de récupération le plus attrayant.

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

Il est possible de réaliser des économies d'énergie variant de neuf à quarante pour cent avec les systèmes à pores fins (EFPR, 1996).

Mesures de débits

L'utilisation d'un matériel de mesure précise des débits d'eaux usées, de boues, d'eau d'effluent ou de lavage, et des dosages de produits chimiques permet d'optimiser les utilisations de ressources, en plus d'avoir d'importantes répercussions sur l'utilisation de produits chimiques, les cycles des filtres, les lavages et les taux de production de boues. Si par exemple la mesure du débit dans le cadre d'un procédé de désinfection régulé en fonction du débit est inexacte, il risque d'y avoir gaspillage inutile d'énergie et de produits chimiques à cause du pompage excessif et de la surchloration.

Système d'épuration biologique

Lorsqu'aucune nitrification n'est requise, le contrôle du temps de séjour de la boue (TSB) ou la réduction des niveaux d'oxygène dissous permet de réduire de façon importante les besoins en oxygène; il est alors possible de réduire la durée de fonctionnement des aérateurs mécaniques ou des soufflantes et donc, la consommation énergétique, et de prévenir toute nitrification inutile. L'ajout de coagulant durant l'épuration primaire améliore l'élimination des particules avant l'aération. Cela réduit la consommation énergétique liée à l'aération. Malgré que la consommation d'énergie diminue, l'utilisation de produits chimiques et la production de boues primaires augmentent durant l'épuration primaire, et on doit alors examiner la possibilité de faire des compromis.

En passant au mode d'aération tout ou rien, il est possible de faire fonctionner les soufflantes ou les aérateurs mécaniques pendant de courtes périodes (c.-à-d. 30 minutes), puis de les arrêter pendant des périodes de même durée ou plus courtes. Cela réduit considérablement la consommation énergétique. On doit éviter de recourir à cette approche dans le cas des systèmes d'aération qui risquent de s'encrasser en cas d'interruption de l'alimentation en air (c.-à-d. ceux en céramique ou à pores fins, ou certains diffuseurs d'air à grosses bulles). Il faut améliorer les dispositifs d'aération en posant en rattrapage une forme quelconque

de matériel de démarrage en rampe qui les protégera contre l'usure associée à l'augmentation du nombre de démarrages. Les dispositifs de démarrage souple permettent de réduire la demande de pointe.

En optimisant le temps de séjour de la boue (TSB), on peut réduire la production de biomasse et donc la consommation d'énergie requise pour la manutention et l'élimination des boues. Quand le TSB est élevé, il risque d'y avoir augmentation de la consommation d'énergie liée à l'aération.

Les systèmes d'aération à pores fins produisent des bulles d'air de plus petit diamètre, ce qui améliore l'efficacité du transfert d'oxygène en comparaison avec les systèmes par grosses bulles. L'amélioration du transfert d'oxygène réduit le volume d'air que les soufflantes doivent fournir et, par conséquent, la quantité d'énergie qu'elles consomment. Il est possible de réaliser des économies d'énergie variant de neuf à quarante pour cent avec les systèmes à pores fins (EFPR, 1996). Il faut parfois procéder à un nettoyage supplémentaire des systèmes à pores fins pour éliminer les problèmes de colmatage; les coûts connexes sont toutefois minimes.

Les fermenteurs anoxiques récupèrent l'oxygène lié des nitrates, ce qui réduit l'apport en oxygène nécessaire aux soufflantes dans les bassins d'aération aval. Même s'il faut procéder à un pompage supplémentaire pour recirculer le débit, l'importante réduction de l'utilisation des soufflantes permet d'obtenir des économies d'énergie nettes.

Il est possible d'éliminer l'utilisation excessive d'énergie électrique par les soufflantes ou les aérateurs en surveillant l'oxygène dissous dans les bassins d'aération et en commandant manuellement ou automatiquement le nombre de soufflantes et les débits d'air.

En créant des conditions d'anaérobiose ou d'aérobiose en vue d'augmenter l'absorption biologique du phosphore, on peut réduire de façon importante l'utilisation de produits chimiques. Dans certains cas, il est possible d'éliminer complètement l'ajout de produits chimiques.

Groupes électrogènes de secours

La plupart des installations d'épuration comportent des groupes électrogènes de secours qui assurent l'alimentation électrique durant les urgences. Les groupes ne sont normalement pas utilisés, sauf lorsqu'on en vérifie le fonctionnement et dans le cadre des procédures d'entretien périodique. En faisant fonctionner les groupes électrogènes durant les périodes de pointe, il est possible de réduire la consommation d'énergie électrique et de réaliser ainsi d'importantes économies de coût d'électricité. Les prescriptions relatives à la qualité de l'air et le coût du carburant utilisé par les groupes électrogènes de secours risquent de limiter cette forme d'utilisation à certaines stations. Le scénario ne permettra de réaliser des économies significatives que dans le cas des stations dont les coûts de fonctionnement des groupes électrogènes sont faibles et la demande de pointe, élevée.

Utilisation de l'effluent

Dans les installations d'épuration des eaux usées, il se peut qu'on utilise de l'eau potable pour le lavage à contre-courant des filtres, le rinçage, la composition chimique, la prévention de la mousse et la désodorisation. En utilisant l'eau de l'effluent terminal au lieu de l'eau potable, on peut réaliser d'importantes économies en matière de coût de l'eau. L'utilisation de l'effluent dépend du niveau d'épuration et elle se limite généralement à l'eau de procédé. Il faut désinfecter l'effluent avec du chlore afin de protéger la santé des conducteurs d'installation.

Utilisation du biogaz

Le méthane contenu dans le biogaz issu de la digestion anaérobie peut être utilisé à la place du gaz naturel aux fins du chauffage localisé ou chauffage du digesteur. Dans les grandes installations, la production d'énergie électrique à partir du biogaz peut être assortie d'une période avantageuse de récupération des sommes investies.

Coûts de ressources

Il existe un certain nombre de possibilités de réduire les coûts de ressources, même quant il n'y a aucune réduction de l'utilisation d'une ressource en particulier.

- On peut négocier le montant des factures de services publics de manière à réduire les coûts d'électricité et de gaz. Par exemple, si on améliore le temps mis par la station à se déconnecter du secteur durant les périodes de pointe ou en situation d'urgence, il sera peut-être plus facile de négocier la réduction des tarifs d'énergie.
- On peut combiner ou séparer les factures de services publics relatives aux stations et aux postes de pompage de façon à réduire les coûts d'électricité et de gaz. On peut par exemple obtenir des tarifs d'énergie plus bas en combinant les coûts d'énergie de la station avec ceux des postes de pompage de zones.
- On peut combiner les achats de produits chimiques avec ceux effectués par d'autres stations ou industries, de manière à augmenter le volume des envois et réduire les coûts unitaires.

3.6 Documentation des avantages

À la suite de l'achèvement d'un programme d'optimisation de STEP, il est important de s'assurer d'évaluer les avantages de l'optimisation et de les documenter. L'évaluation doit permettre de comparer les objectifs établis du projet (p. ex. un gain de capacité de 30 p. 100) avec les résultats réels du programme d'optimisation et le rendement du capital investi (c.-à-d. les économies réalisées en comparaison avec les coûts du programme).

La présentation des avantages du programme d'optimisation aux décideurs de la municipalité est essentielle au soutien des initiatives futures. Ce soutien est la clé de la durabilité du processus itératif d'optimisation et de la création de conditions favorables à l'optimisation.

3. Description du travail

3.5 Façons d'aborder l'optimisation

3.6 Documentation des avantages

3. Description du travail

3.7 Organigramme des tâches d'optimisation

3.8 Cas d'utilisation et limitations

3.7 Organigramme des tâches d'optimisation

La figure 3-3 illustre un organigramme de tâches d'optimisation de STEP qui peut servir de guide pour l'atteinte de divers objectifs. Il est important de noter que de nombreux programmes d'optimisation comportent de multiples objectifs et qu'on peut recourir à différentes approches pour atteindre des objectifs déterminés. Durant le stade de l'assistance technique globale d'un CCP par exemple, n'importe lequel des outils d'analyse de procédé décrits dans la présente règle de l'art peut servir à évaluer un procédé unitaire en particulier qui semble limiter les performances de la station. De la même façon, on peut entreprendre la formation des conducteurs d'installation de la même manière que dans le cadre d'une assistance technique globale, même quand on n'a pas utilisé de façon formelle la façon CCP d'aborder l'optimisation. N'importe lequel des outils d'analyse de procédé, tels que la vérification du transfert d'oxygène ou la modélisation pour simulation, peut servir à cerner les occasions de réduire le coût d'exploitation d'une station.

Il est essentiel de reconnaître l'importance de l'étape de l'évaluation de la station pour la réussite du programme d'optimisation. Celle-ci permet d'établir la validité des données historiques qui constituent le fondement de

la détermination des possibilités en matière d'efficacité, et la capacité de la station. Elle permet également d'établir les points de référence qui serviront à mesurer les avantages des étapes subséquentes de l'optimisation. Quand les données sont suspectes à cause d'une mauvaise comptabilisation des boues ou d'un compteur de débit mal posé, il est important d'exercer une surveillance supplémentaire à cette étape pour s'assurer que les travaux subséquents reposeront sur une connaissance solide des possibilités et des limitations de la station.

L'étape de l'évaluation de la station permet également d'établir l'approche et le plan de travail qu'on mettra en œuvre par la suite dans le but d'optimiser la station et d'atteindre les objectifs d'optimisation définis précédemment. L'organigramme des tâches (figure 3-3) suggère le type d'essai ou d'outil d'optimisation qu'il serait possible d'utiliser pour atteindre des objectifs précis. Répétons-le, l'organigramme n'est qu'un guide. Il faut adapter l'approche utilisée, de façon à atteindre les objectifs généraux et celle-ci variera selon la taille et le type de la station en cours d'optimisation, les ressources disponibles et la compétence réelle du personnel de la station en ce qui a trait à l'exécution des essais en cause.

4. Cas d'utilisation et limitations

4.1 Cas d'utilisation

Les éléments de la règle de l'art relative à l'optimisation d'une STEP s'appliquent à toutes les stations d'épuration, peu importe le type ou la taille. Il se peut que les outils qui pourraient être utilisés dans une petite STEP diffèrent de ceux qu'on utiliserait dans une grande station, parce que les coûts et le rendement possible de certaines approches risquent de ne pas être justifiés dans le cas d'une petite station.

4.2 Limitations

La présente règle de l'art englobe le traitement des flux liquides d'eaux usées, y compris les procédés tels que l'épuration préliminaire, primaire, secondaire ou tertiaire, et la désinfection de l'effluent après épuration. La stabilisation et la digestion des boues, et la gestion des biosolides ne sont pas traitées dans le document. La Direction du *Guide*

national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art a également préparé une règle de l'art relative à la gestion des biosolides. Le lecteur doit consulter cette règle pour trouver des renseignements sur le sujet.

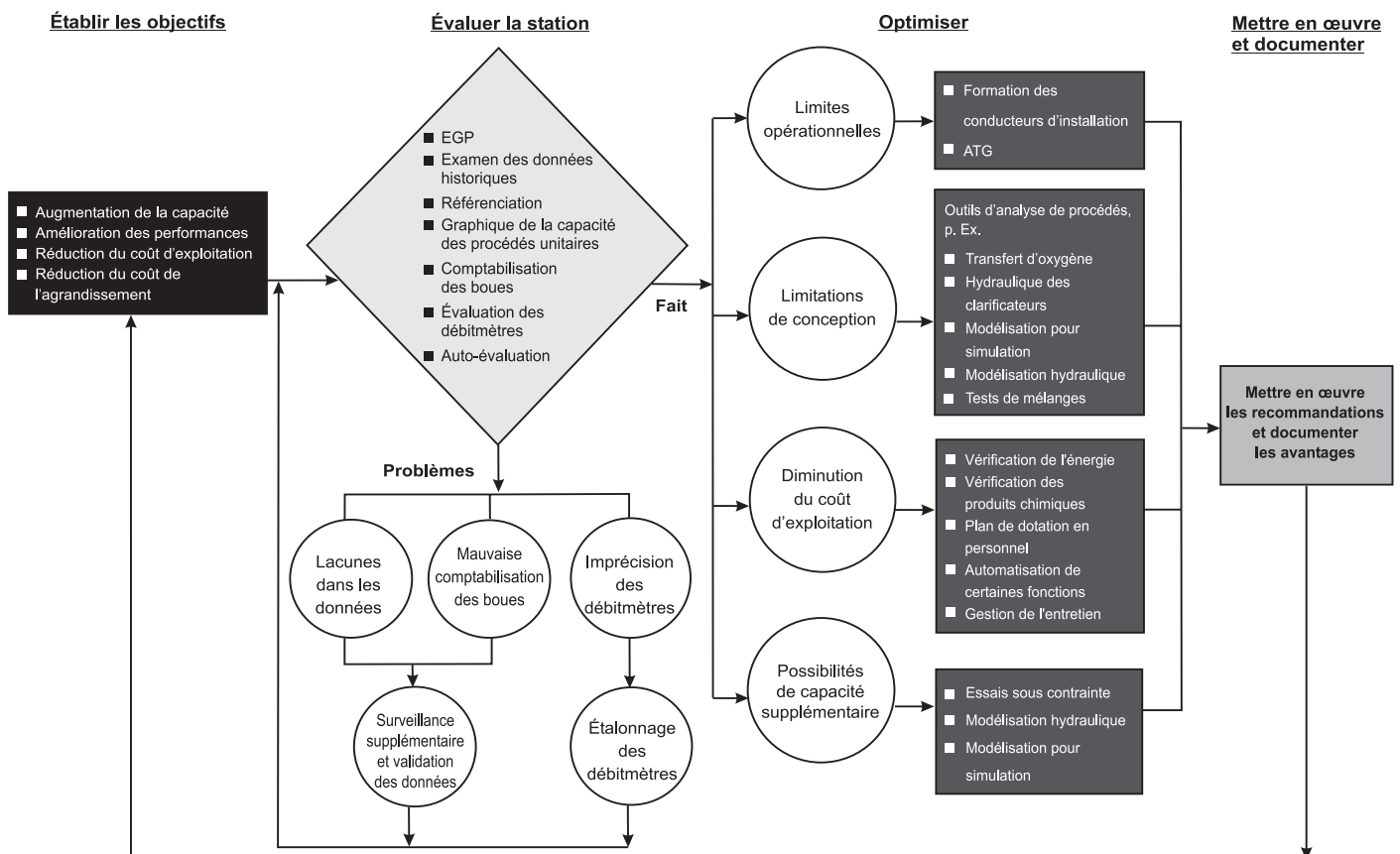
La présente règle de l'art porte surtout sur l'optimisation des STEP mécaniques plutôt que des systèmes à lagunage, bien que les aspects du document qui se rapportent à la formation des conducteurs d'installation soient applicables à tous les types et à toutes les tailles de STEP. La Direction du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art* élaborera une règle de l'art relative à l'exploitation et à l'entretien des étangs. Le lecteur devra se reporter à cette règle de l'art pour trouver des renseignements sur l'optimisation des systèmes à lagunage.

4. Cas d'utilisation et limitations

4.1 Cas d'utilisation et limitations

Figure 3-3
Représentation de l'organigramme des tâches d'optimisation.

Figure 3-3 : Représentation de l'organigramme des tâches d'optimisation.



Annexe A:

Cas concrets choisis

A.1 Cas concret n° 1 – STEP Burlington Skyway (Wheeler et Hegg, 1999)

La STEP Burlington Skyway est la plus grande station d'épuration de la municipalité régionale de Halton. L'effluent traité de la station se déverse dans le port de Hamilton. Le port a été désigné comme un des sept secteurs préoccupants canadiens dans les Grands Lacs par la Commission mixte internationale. On a ciblé au départ des prescriptions strictes (PT = 0,3 mg/L, ammoniac = 5,6 mg/L et TSS = 10 mg/L) relativement à l'effluent issu de la station Burlington Skyway pour atténuer l'eutrophisation et la toxicité dans le port de Hamilton. Pour être en mesure de respecter ces prescriptions, la municipalité régionale de Hamilton a mis en œuvre un programme formel d'optimisation en 1995. Le programme avait pour but de maximiser les possibilités hydrauliques des infrastructures existantes tout en respectant les exigences en matière de performances et d'habiliter le personnel en lui fournissant les compétences et l'initiative qui lui permettraient de mettre en œuvre des activités visant à maintenir économiquement les niveaux de performances ciblés.

La station Burlington Skyway est une station à boue activée classique dont la capacité théorique nominale est de 93 000 m³/jour; elle dessert les responsables de rejets à la fois industriels et résidentiels. Les principaux éléments constitutifs des procédés d'épuration du train liquide incluent l'épuration préliminaire, la décantation primaire, l'épuration secondaire classique des boues activées et la désinfection. On emploie l'ajout à deux endroits de chlorure de fer pour limiter le phosphore. Le train d'épuration des matières solides inclut la flottation à l'air dissous (FAD), l'épaississement des boues activées excédentaires et la digestion anaérobie mésophile. Les digesteurs primaires sont équipés d'un mélangeur des gaz.

Le dégagement gazeux est utilisé dans des chaudières alimentées au gaz et le gaz excédentaire est stocké sur place. Les boues d'égout digérées sont transportées à l'installation régionale de manutention des biosolides avant d'être épandues sur le sol.

L'outil d'optimisation qu'on a utilisé à la STEP Burlington Skyway est le Composite Correction Program (CCP). L'évaluation globale de la station a permis d'établir que certaines limitations, soit non techniques, soit liées à la gestion et aux ressources humaines, constituaient d'importants facteurs limitant les performances, notamment la communication inadéquate entre les conducteurs d'installation et les gestionnaires, le manque de compréhension des besoins de la station, la mise en pratique inadéquate de concepts opérationnels et l'incapacité de la station à réagir adéquatement en cas de débit excessif. L'approche utilisée pour régler les problèmes non techniques a consisté à les aborder en même temps que la limitation d'ordre technique, après qu'on ait réalisé qu'aucune amélioration de la qualité de l'effluent ne pourrait être durable si les problèmes d'ordre non technique n'étaient pas réglés. Durant l'étape de l'assistance technique globale du CCP, on a insisté sur l'amélioration de la communication et la bonne façon d'utiliser les techniques de fixation des priorités et de résolution de problèmes.

Parmi les autres efforts en matière d'optimisation entrepris à la station durant l'assistance technique globale, on retrouve :

- L'évaluation du dosage optimal des polymères et la gestion du dosage (de décembre 1996 à février 1997);
- L'évaluation à l'échelle pilote d'un mécanisme à lames hélicoïdales destiné à améliorer l'efficacité du soutirage des boues d'un clarificateur en vue d'améliorer la nitrification (de septembre 1997 à mars 1998);

A. Cas concrets choisis

A.1 Cas concret n° 1 –
STEP Burlington
Skyway (Wheeler et
Hegg, 1999)

L'approche utilisée pour régler les problèmes non techniques a consisté à les aborder en même temps que la limitation d'ordre technique, après qu'on ait réalisé qu'aucune amélioration de la qualité de l'effluent ne pourrait être durable si les problèmes d'ordre non technique n'étaient pas réglés.

A. Cas concrets choisis

A.1 Cas concret n° 1 –
STEP Burlington
Skyway (Wheeler et
Hegg, 1999)

Figure A-1

Charge moyenne totale de
phosphore – Effluent de la
STEP Burlington Skyway

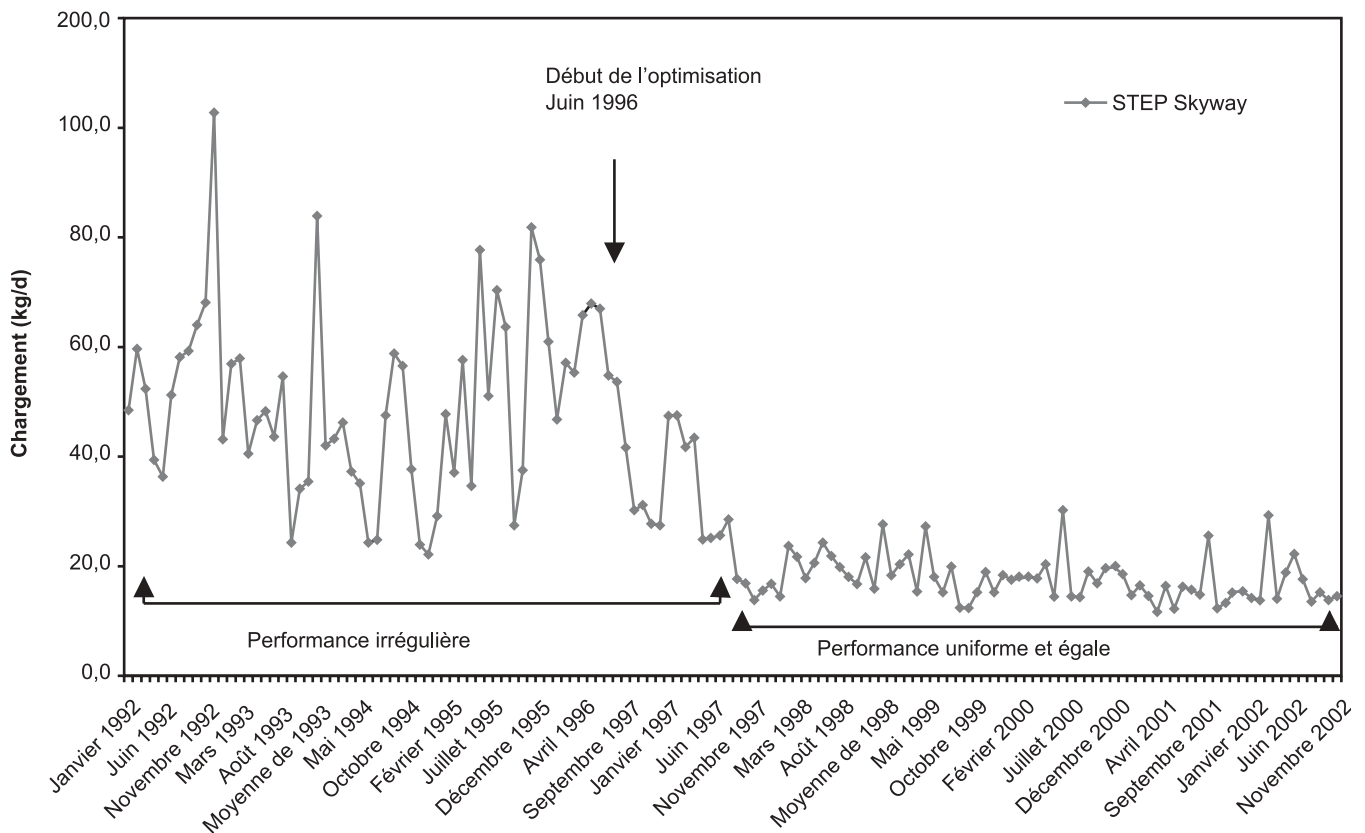
- La pose en rattrapage d'un mécanisme à lames hélicoïdales dans les autres clarificateurs (été 1998);
- L'optimisation du mécanisme d'évacuation [vitesse à la pointe du râteau de 305 cm/min (10 pi/min)] (été 1999); et
- La réactivation du bassin de flottation à l'air dissous (FAD) existant (mars 1999).

En ce qui a trait au contrôle opérationnel, on a mis l'accent sur une meilleure utilisation par les conducteurs d'installation des techniques de contrôle dans le cas de tous les principaux procédés unitaires, en accordant la priorité au procédé unitaire secondaire. Pour améliorer le contrôle de l'inventaire des matières solides, on a prélevé quotidiennement des échantillons qu'on a ensuite vérifiés afin de contrôler la masse de boue dans le système d'aération et

les clarificateurs secondaires, les canalisations de sousverse de boues activées de retour (BAR), de même que dans les clarificateurs primaires, dans le but de maintenir la stabilité du soutirage.

Les efforts continus en matière d'optimisation de la STEP Burlington Skyway ont permis d'améliorer substantiellement la performance de la station en matière d'élimination du phosphore. La réduction de la charge de phosphore obtenue dans le port de Hamilton à la suite des efforts d'optimisation est illustrée dans la figure A-1. De plus, on est parvenu à obtenir la nitrification à la station sans dépenses d'immobilisations importantes, ce qui a permis d'atteindre les objectifs fixés dans le cas du port de Hamilton.

Figure A-1 : Charge moyenne totale de phosphore – Effluent de la STEP Burlington Skyway.



Source : WEFTEC (1999).

En maximisant les compétences opérationnelles au moyen de l'assistance technique globale conjointement avec les autres travaux d'optimisation exécutés à la station, on a pu obtenir un niveau d'efficacité qui n'était pas considéré atteignable avant l'optimisation. On a estimé qu'il faudrait moderniser les immobilisations au coût de 33 millions de dollars pour obtenir la nitrification à la station. En outre, on a trouvé à la station assez de capacité supplémentaire pour être en mesure de reporter des travaux d'agrandissement au montant de 17 millions de dollars. Sur la foi du succès obtenu, la Région a étendu le programme d'optimisation de manière à y inclure toutes les stations d'épuration des eaux usées ou de purification de l'eau.

A.2 Cas concret n° 2 – STEP d'Ayr (XCG, 2000b)

La STEP d'Ayr dessert la ville d'Ayr, dans la municipalité régionale de Waterloo. Il s'agit d'une station compacte fonctionnant d'après le principe de l'aération prolongée; elle a été construite en 1978 et sa capacité théorique est de 1181 m³/j. Les procédés de traitement utilisés à la station incluent le dégrillage, des canaux dessableurs, l'aération à l'aide de diffuseurs avec membrane à pores fins, qui ont été mis en place en rattrapage pour permettre des économies d'énergie, la clarification secondaire, l'ajout de chlorure de fer servant à éliminer le phosphore, et la désinfection au chlore. Les boues excédentaires sont stabilisées par voie aérobie et transportées soit directement à des sols où elles sont épandues, soit à une installation régionale de stockage des boues pour entreposage provisoire.

En 2000, la station fonctionnait à environ 89 p. 100 de sa capacité théorique et la croissance de la collectivité était limitée en raison de contraintes en matière de desserte. Pour déterminer s'il y avait de la capacité supplémentaire dans la station existante, on a fait exécuter une étude d'optimisation et de reclassification dans le but de définir la capacité maximale des installations, de

déterminer les procédés qu'il fallait améliorer et de collecter des données adéquates servant à justifier une demande d'augmentation de la capacité nominale de la station.

L'examen détaillé de l'historique et l'analyse de la capacité des procédés ont indiqué qu'il était possible de faire passer la capacité nominale de la station de 1181 à 1500 m³/j. Au même moment, l'organisme de réglementation a imposé à la station des exigences plus strictes en matière d'élimination du phosphore, la nitrification à l'année longue et la production d'un effluent non toxique après désinfection.

La mise à l'essai des procédés de la station dans le but de confirmer les résultats de la phase d'évaluation des installations incluait la vérification du transfert d'oxygène dans le but de déterminer l'aptitude du matériel d'aération existant à produire la nitrification, la mise à l'essai sous contrainte des clarificateurs et la modélisation pour simulation du processus biologique. En outre, la phase d'évaluation a laissé entendre que la précision des débitmètres de la station était douteuse. On a donc procédé également à des essais d'étalonnage des débitmètres afin de confirmer la validité des données historiques de débits et de charges.

Les essais effectués sur les procédés ont démontré que, pour s'assurer de disposer d'une capacité adéquate en matière de clarification, il y avait lieu d'améliorer le système de pompage des BAR, lequel utilise des pompes à émulsion d'air qui manquent de commandabilité et fonctionnent à un débit de retour élevé. Il fallait également augmenter la capacité de transfert d'oxygène pour maintenir la nitrification nécessaire au respect des nouvelles prescriptions relatives à la teneur en ammoniac de l'effluent. Des améliorations au poste de pompage des eaux d'égout brutes et un nouveau poste de mesure des débits étaient également inclus. Pour respecter l'exigence relative à la non-toxicité de l'effluent imposée à la station, on a remplacé le système de désinfection au chlore par un système aux rayons UV.

A. Cas concrets choisis

A.1 Cas concret n° 1 –
STEP Burlington
Skyway (Wheeler et
Hegg, 1999)

A.2 Cas concret n° 2 –
STEP d'Ayr
(XCG, 2000b)

A. Cas concrets choisis

A.2 Cas concret n° 2 –
STEP d'Ayr
(XCG, 2000b)

Tableau A-1

Résumé des améliorations
et des coûts relatifs à
l'augmentation à
1500 m³/j de la capacité
de la STEP d'Ayr.

Le coût estimatif des modifications destinées à faire passer la capacité de 1181 à 1500 m³/j, c'est-à-dire à l'augmenter de 27 p. 100, était de 450 000 \$. Plus de la moitié du montant était liée à la mise en place de la désinfection aux rayons UV, qui constituait une exigence du nouveau certificat d'approbation et n'était pas expressément requise pour l'augmentation de la capacité de la station. Les estimations de coût relatives à la modernisation de la station sont résumées dans le tableau A-1. L'augmentation de la capacité n'exigeait aucune construction de nouveau bassin, sauf

dans le cas du système de désinfection aux rayons UV. Le coût équivalent des modifications permettant d'obtenir la capacité supplémentaire était inférieur à 700 \$ par m³/j de capacité, à l'exclusion du coût de l'installation de désinfection aux rayons UV. Fait tout aussi important que le faible coût de la modernisation, la collectivité a pu poursuivre son développement sans devoir subir les longs délais normalement liés aux importants travaux de construction d'une station d'épuration.

Tableau A-1 : Résumé des améliorations et des coûts relatifs à l'augmentation à 1500 m³/j de la capacité de la STEP d'Ayr.

Procédé	Description	Coût d'immobilisations estimatif (\$)
Pompage des eaux usées brutes	<ul style="list-style-type: none">■ Deux pompes élévatoires d'une capacité de 4000 m³/j chacune■ Les pompes peuvent être soit à deux vitesses, soit posées avec un seul entraînement à vitesse variable munies d'un appareillage de commutation qui permet de l'utiliser avec l'une ou l'autre des pompes	80 000
Pompage des BAR	<ul style="list-style-type: none">■ Pompe centrifuge à amorçage automatique■ Capacité ferme de 1500 m³/j	55 000
Capacité d'oxygénation	<ul style="list-style-type: none">■ Ajout de deux nouvelles soufflantes à piston de 900 m³/h■ Diffuseurs de bassin d'aération supplémentaires	75 000
Désinfection	<ul style="list-style-type: none">■ Passage à la désinfection aux rayons UV■ Bassin de contact séparé avec environ 40 lampes à basse pression■ Nouveau poste de mesure du débit consistant en un déversoir rectangulaire et un capteur ultrasonique	240 000
Total	<ul style="list-style-type: none">■ Amélioration permettant d'obtenir une capacité de 1500 m³/j	450 000

Les améliorations mentionnées ci-dessus ont été apportées et le nouveau certificat d'approbation émis subséquemment indique que la capacité nominale de la station est maintenant de 1 500 m³/j.

A.3 Cas concret n° 3 – STEP de Tillsonburg (Phagoo et coll., 1996)

La nitrification dans une station à boue activée peut entraîner une augmentation importante des coûts d'énergie liés à la fourniture de l'oxygène supplémentaire requis par les bactéries nitrifiantes pour oxyder l'ammoniac et le transformer en nitrates. La dénitrification, c.-à-d. la réduction des nitrates en azote gazeux dans des conditions anoxiques, peut récupérer une partie de l'oxygène lié présent dans les nitrates. Ordinairement, la dénitrification a lieu dans un réacteur mixte séparé dans lequel on maintient la concentration d'oxygène dissous à un niveau près de zéro pour que le processus puisse avoir lieu. La mise en œuvre de la dénitrification peut donc exiger un important investissement de capitaux.

Dans le cadre d'une approche optimisée, il est possible de faire fonctionner les aérateurs de façon intermittente dans le même bassin et d'assurer l'alimentation en oxygène nécessaire à la nitrification, puis de récupérer l'oxygène lié, dans des conditions sans aération (anoxiques). L'approche optimisée peut permettre de réduire les coûts d'énergie globaux tout en produisant un effluent dans lequel la concentration d'azote total est plus faible.

On a procédé à une démonstration de l'aération tout ou rien à la STEP de Tillsonburg, en Ontario, pour déterminer les économies d'énergie qu'il était possible de réaliser et les répercussions de ce type d'aération sur l'efficacité de la station. La STEP de Tillsonburg est une station à boue activée classique dont la capacité théorique est de 8200 m³/j. Elle convenait de façon idéale à la démonstration, puisqu'elle contient deux trains d'épuration identiques et parallèles (clarificateurs primaires, bassins d'aération et clarificateurs secondaires). L'aération et le mélange dans les réacteurs biologiques sont assurés par des diffuseurs à grosses bulles et l'air est fourni par des soufflantes à piston, à vitesse variable ou fixe. Les concentrations d'OD de l'aération font l'objet d'une surveillance et sont commandées automatiquement.

Un des deux trains parallèles a été modernisé de façon à permettre l'aération tout ou rien. Chaque train consiste en deux bassins d'aération en série et la modernisation permet d'exploiter l'un ou l'autre, ou les deux bassins, en mode tout ou rien. Le système de commande permet de faire varier la durée des cycles de marche et d'arrêt, et inclut durant le cycle d'arrêt des jets d'air de fréquence et de durée variables qui assurent le mélange dans le réacteur. Les deux trains ont alors été exploités dans des conditions de charge comparatives en été et en hiver pour qu'il soit possible de déterminer les économies d'énergie réalisées et les répercussions, le cas échéant, sur la qualité de l'effluent.

Lorsque la station fonctionnait en mode d'aération tout ou rien, la nitrification était moins bonne que lorsqu'elle fonctionnait en mode d'aération continue; cependant, la station d'essai (aération tout ou rien) présentait des concentrations d'azote total inférieures à celles de la station de contrôle (aération continue). L'amélioration de l'élimination de l'azote total était de 39 p. 100 lorsqu'un des deux bassins d'aération fonctionnait de façon intermittente et de 67 p. 100 lorsque les deux bassins fonctionnaient de cette façon. Les économies d'aération étaient de 16 p. 100 lorsque l'alimentation en air d'un des deux bassins fonctionnait de façon intermittente et de 26 p. 100 lorsque celle des deux bassins était cyclée. Lorsqu'un seul bassin était cyclé, environ neuf pour cent des économies étaient dues à la récupération de l'oxygène lié durant la dénitrification, tandis que les autres sept pour cent résultaient de l'amélioration de l'efficacité du transfert d'oxygène due à la quantité moindre d'oxygène dissous présente dans le bassin au moment de l'amorçage du cycle d'injection d'air. De la même façon, lorsque les deux bassins étaient cyclés, environ 20 p. 100 des 26 p. 100 d'économies d'aération résultaient de la récupération de l'oxygène lié durant la dénitrification.

A. Cas concrets choisis

A.3 Cas concret n° 3 –
STEP de Tillsonburg
(Phagoo et coll.,
1996)

A. Cas concrets choisis

A.4 Cas concret n° 4 – STEP de Montréal (Forest, 2003)

A.4 Cas concret n° 4 – STEP de Montréal (Forest, 2003)

La station d'épuration des eaux usées (STEP) de Montréal est la plus grande station d'épuration de la province de Québec et on y traite toutes les eaux usées de l'Île de Montréal, avec ses 1,8 million d'habitants, depuis 1995. Le traitement effectué à la station est un traitement primaire amélioré (physico-chimique); la capacité maximale de la STEP est de 88 m³/s (7 600 MLJ) et la capacité de débit d'étiage, de 25 m³/s (2 160 MLJ). Il y a deux intercepteurs, un sur chaque rive de l'île, qui interceptent tous les exutoires et dirigent le débit par gravité vers la STEP. Le traitement effectué à la station comprend l'ajout d'un sel métallique (chlorure de fer ou alum) et d'un polymère anionique préalablement à la clarification.

L'intercepteur nord a été le premier à être mis en service, en 1984. À l'époque, il y avait 14 clarificateurs primaires rectangulaires mesurant 91 m de long × 30 m de large × 4,6 m de profond. Lorsqu'on a raccordé l'intercepteur sud à la station, on prévoyait que le débit doublerait, ce qui nécessiterait la construction de 14 autres clarificateurs. Préalablement à l'agrandissement, Laboratoire hydraulique Lasalle, un laboratoire du Québec, a entrepris des études visant à simuler les schémas hydrauliques dans un clarificateur modélisé et à déterminer les façons de modifier le bassin pour en augmenter la capacité. À partir des résultats de la modélisation, on a modifié deux des clarificateurs existants pour qu'il soit possible de procéder à des essais en grandeur réelle. Les modifications effectuées incluaient l'ajout d'un tamis vertical spécial sur toute la largeur de l'entrée du clarificateur pour éviter le court-circuitage du débit, la modification des collecteurs horizontaux de l'effluent à la sortie du clarificateur, ce qui a consisté à remplacer des conduites de 60 cm par des conduites de 76 cm et à ajouter un évent pour augmenter le débit, et la pose de trous de sortie au fond de ces collecteurs pour éviter la succion de l'écume. On a effectué des essais en grandeur réelle en 1991 à l'aide de deux types de

coagulant servant à l'enlèvement du phosphore, soient le chlorure de fer et l'alun, et les résultats se sont avérés concluants. Après la modification des clarificateurs, la capacité hydraulique est passée de 3,5 à 5 m³/s.

Tous les clarificateurs existants ont alors été modifiés de la même façon, au coût total de un million de dollars. Les travaux d'optimisation ont fait en sorte qu'il n'a fallu construire que 7 clarificateurs supplémentaires au lieu des 14 bassins prévus à l'origine. Les travaux ont coûté 37 millions de dollars. On a estimé que les économies résultant de l'optimisation de la capacité des clarificateurs se chiffraient à environ 36 millions de dollars.

Par la suite, les travaux d'optimisation exécutés à la STEP de Montréal ont porté surtout sur la réduction du coût des produits chimiques. En 1994, on a ajouté le sel métallique (chlorure de fer ou alum) à l'entrée de chacun des 14 dessableurs. À partir des résultats d'essais de floculation effectués en laboratoire, on augmentait le dosage de coagulant durant la période au cours de laquelle les charges de la STEP étaient plus élevées et on le réduisait lorsque les charges avaient diminué. En 1994, les coûts de coagulant représentaient 4 millions de dollars par année, le budget de fonctionnement étant alors de 38 millions de dollars.

Afin de réduire les coûts, on a effectué en 1994 une étude d'optimisation des procédés. Comme mesure initiale, on a déplacé le point de dosage du coagulant de l'entrée de chacun des 14 dessableurs pour l'amener à un endroit situé à l'avant des grilles à barreaux et on a ajouté l'injection d'air pour améliorer le mélange au point de dosage. La modification a permis d'éliminer les problèmes de dosage inégal de produit chimique au niveau de chaque dessableur et de corriger des problèmes de régulation du dosage.

Deuxièmement, l'analyse des particules (cendres volantes) collectées par l'eau de l'épurateur-laveur à Venturi des gaz de combustion du système de traitement d'air de l'incinérateur a révélé qu'elles contenaient

des concentrations importantes de phosphore (environ 0,2 mg/L). Le flux de recyclage de l'eau de l'épurateur-laveur était rejeté dans l'effluent de la STEP au débit d'environ 160 L/s, faisant ainsi augmenter les concentrations de phosphore dans l'effluent de la station. Pour atteindre l'objectif d'une teneur en phosphore total de 0,5 mg/L dans l'effluent de la station, il fallait utiliser des dosages plus élevés de produits chimiques. On a donc modifié la tuyauterie de manière à ce que l'eau de l'épurateur-laveur retourne à l'avant de la station pour qu'on puisse la traiter en même temps que les eaux usées brutes et en extraire le phosphore.

Une fois les modifications achevées, on a installé un système automatisé de contrôle du dosage des produits chimiques dans le cadre de la mise en œuvre d'un système SCADA dans toute la station. On a installé des analyseurs en ligne de turbidité et de phosphore pour mesurer les caractéristiques des eaux usées brutes dans

les intercepteurs nord et sud, l'effluent d'une colonne de décantation qui simule en cinq minutes les performances des clarificateurs en grandeur réelle, et l'eau de l'effluent à la sortie de la STEP. Au départ, le système SCADA règle le dosage de produits chimiques en fonction du débit et des caractéristiques des eaux usées brutes mesurés par les analyseurs en ligne. Le dosage est ensuite corrigé selon les résultats fournis par les analyseurs en ligne qui surveillent l'effluent simulé de la colonne de décantation et il est mis au point plus tard en fonction des indications des analyseurs en ligne qui surveillent l'effluent traité de la station.

Toutes ces modifications ont permis de réduire d'environ 40 p. 100 le dosage de produits chimiques. Aux coûts de 2002 des coagulants chimiques, cela représente une économie annuelle d'environ 3 millions de dollars, le budget total 2002 de fonctionnement de la station étant de 46 millions de dollars.

A. Cas concrets choisis

A.4 Cas concret n° 4 –
STEP de Montréal
(Forest, 2003)

Annexe B:

Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.1 Hydraulique de la station

Les modifications rapides de la charge hydraulique sont caractéristiques des petites STEP et elles sont causées par des choses telles que les débits de pompage intermittent, le caractère ville-dortoir de la municipalité et les réseaux d'égout unitaires. Les variations excessives du débit et de la charge peuvent avoir des répercussions sur les performances de la station tout entière. On peut régler ces problèmes en procédant à des modifications d'ordre opérationnel, telles que :

- L'utilisation d'un système de recyclage servant à gérer un débit variable;
- L'utilisation de plusieurs pompes à vitesse constante plus petites;
- Le remplacement des pompes à vitesse constante par des pompes à vitesse variable ou des pompes à vis;
- Le fonctionnement à débit réduit et à pendant plus longtemps des pompes à vitesse constante d'un poste de pompage d'influent;
- L'utilisation des modes d'alimentation étagée et de stabilisation par contact pour atténuer les répercussions d'un surplus d'eau de captage et d'infiltration (EC-I) sur les stations d'épuration à biomasse en suspension;
- Le retour du liquide surnageant dans les digesteurs ou des autres flux concentrés durant les périodes de faible débit;
- Le réglage des régulateurs de vitesse de pompe et des régulateurs de niveau de bache d'aspiration de façon à minimiser le nombre de démarrages et d'arrêts des pompes; et
- L'ajout d'un système de stockage et du contrôle en temps réel.

L'eau de captage et l'infiltration (EC-I) peuvent être d'importantes sources de débit dans les systèmes d'eaux usées. Cela a une incidence sur l'efficacité du système à cause de l'augmentation du débit dans celui-ci et de la demande plus élevée exigée des postes de pompage. En mettant en œuvre des programmes de réduction de l'EC-I, il est possible de réduire de façon importante les débits d'eaux usées qui doivent être épurés, ce qui réduit le traitement nécessaire et entraîne des économies de ressources (produits chimiques et énergie). La Direction du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art* a préparé une règle de l'art relative au contrôle et à la réduction de l'EC-I.

B.2 Épuration préliminaire

B.2.1 Dégrillage

Le dégrillage inadéquat peut limiter les performances et la capacité de la station, et faire augmenter énormément les besoins en matière d'E et E. Même si bon nombre de petites STEP utilisent encore des grilles à nettoyage manuel, toutes les stations doivent examiner la possibilité de passer à des dispositifs à nettoyage automatique. Le nettoyage des grilles doit se faire de façon automatique en fonction de la perte de charge et de la durée de fonctionnement. L'ajout de conduites de contournement des grilles pour les besoins de l'entretien peut également améliorer la souplesse du procédé.

B.2.2 Dessablage

La pose de chicanes longitudinales ou transversales, ou la modification de l'écoulement de l'air dans les dessableurs aérés, peut améliorer l'efficacité du procédé. Quand une station connaît des problèmes de sable et que la conception du dessableur

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.1 Hydraulique de la station

B.2 Épuration préliminaire

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.2 Épuration préliminaire

B.3 Épuration primaire

B.4 Épuration biologique

semble être adéquate, il se peut que le problème se situe au niveau de l'ouvrage de dessablage. Il se peut que la conception, la pose ou l'entretien de composants tels que les pompes, les transporteurs à chaînes et à raclettes, les transporteurs à vis ou les élévateurs à godets, soient inadéquats.

B.3 Épuration primaire

On doit envisager d'effectuer les modifications énumérées ci-après pour améliorer l'efficacité du procédé d'épuration primaire.

- Ajout de coagulants à un clarificateur primaire sous-dimensionné ou à un clarificateur dans lequel la vitesse de déversement en surface est élevée (de plus de 40 à 60 m³/m²·j).
- Relocalisation du recyclage interne des débits de BAE.
- Amélioration de la division et du contrôle du flux.
- Amélioration de l'évacuation des boues et des écumes, au moyen de l'automatisation.

B.3.1 Réduction de la quantité de produits chimiques utilisée

En améliorant le contrôle de la vitesse d'alimentation et le mélange des produits chimiques au point d'ajout, on réduira la quantité de produits chimiques utilisée. Il existe de nombreux produits et techniques qui permettent d'améliorer les apports et le mélange de produits chimiques. On retrouve entre autres les agitateurs rapides sur canalisation et les systèmes de mélange à grande vitesse. Il faut effectuer régulièrement des essais de floculation pour déterminer la procédure de dosage et le dosage de produits chimiques optimaux.

Le système de mélange à grande vitesse (SMGV) peut servir à remplacer l'injecteur, la pompe d'injection, le diffuseur, le mélangeur mécanique, le filtre et le tamis d'un système d'introduction traditionnel. Le SMGV comporte un impulseur qui injecte les produits chimiques à des vitesses élevées dans le liquide à traiter, ce qui permet d'obtenir un meilleur mélange. Il en résulte la possibilité d'une réduction importante de la quantité de produits chimiques utilisée.

B.3.2 Réduction de l'ajout avant la précipitation de produits chimiques servant à éliminer le phosphore

On peut ajouter les produits chimiques servant à éliminer le phosphore, soit au niveau primaire, soit au niveau secondaire de l'épuration. Généralement, les produits chimiques permettent d'éliminer le phosphore plus efficacement lorsqu'on les ajoute à l'épuration secondaire et il est alors possible de réduire la quantité utilisée. Il est toujours possible d'utiliser des produits chimiques dans l'épuration primaire pour améliorer l'élimination biologique des nutriments (BOD) dans certaines installations, ce qui réduit la quantité d'énergie utilisée dans le système biologique et la production de boues secondaires. C'est l'ajout de produits chimiques en plusieurs points qui permet d'utiliser la quantité de produits chimiques la plus faible et de produire le moins de boues, lorsque la concentration de phosphore dans l'effluent doit être faible.

B.4 Épuration biologique

B.4.1 Souplesse inadéquate du processus

Quand le manque de souplesse limite les performances ou la capacité du processus d'épuration biologique, on peut poser de la tuyauterie et de la robinetterie qui permettront d'exploiter les bassins d'aération en mode de mélange complet, en mode de flux piston, en mode d'alimentation étagée ou en mode de stabilisation par contact selon les débits, les charges et les autres conditions critiques.

Il est possible de poser du matériel qui augmentera la souplesse du processus. Cela inclut :

- La tuyauterie requise pour isoler chaque bassin ou procédé;
- Des aérateurs ou des soufflantes à vitesse variable dans le ou les bassins d'aération;
- Des pompes à boue à vitesse variable pour le débit de boues de retour ou de boues excédentaires; et
- Des doseurs de réactifs qui amélioreront les caractéristiques de décantation.

B.4.2 Nitrification

L'ammoniac, les chloramines et les effluents municipaux chlorés sont considérés être des substances toxiques en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE). Bon nombre de nouveaux permis incluent maintenant des prescriptions relatives à l'ammoniac. La nitrification, c'est la conversion biologique de l'ammoniac en nitrates. La correction de l'alcalinité est importante dans une station à boue activée dont la conception prévoit la nitrification. Quand l'alcalinité est insuffisante durant la conversion de l'ammoniac en nitrates, le pH du système chute, ce qui risque de gêner la nitrification. Il doit y avoir un système adéquat de réglage de l'alcalinité qui permettra d'obtenir une alcalinité résiduelle de 50 mg/L, dans le cas de l'aération, et de 150 mg/L, dans celui d'un circuit d'oxygène à haute pureté (EPA, 1982).

B.4.3 Procédés d'élimination biologique des nutriments

Les procédés EBN améliorent les possibilités d'élimination des nutriments de la STEP et peuvent également produire d'autres avantages, tels qu'une meilleure décantation des boues, une production de boues moindre, la réduction de la consommation d'alcalinité des procédés et la diminution de la quantité d'oxygène requise par les procédés.

Il existe un grand nombre de configurations EBN. La configuration de procédés choisie doit tenir compte des prescriptions relatives à l'effluent et de la configuration actuelle des bioréacteurs. Il est également possible de créer les zones anaérobies ou anoxiques requises en posant des chicanes dans les bassins existants quand le volume des réacteurs est adéquat. Selon le procédé EBN choisi, il se peut qu'on doive poser du matériel de mélange et reconfigurer la capacité du système d'aération et celle du pompage de recyclage.

B.4.4 système de transfert d'oxygène

Quand le transfert d'oxygène dans la STEP est inadéquat ou qu'on doit minimiser les coûts d'énergie liés au système d'aération, on doit étudier la possibilité de recourir à des méthodes de réduction de la charge organique avant d'effectuer d'importantes modifications. On doit également suivre les étapes opérationnelles, telles que le nettoyage des diffuseurs ou l'enlèvement de chiffons accumulés sur les aérateurs mécaniques de surface. Quand ces mesures ne permettent pas d'améliorer la capacité de transfert d'oxygène du système, on peut envisager d'effectuer les modifications suivantes :

- Pose de soufflantes supplémentaires pour éliminer une insuffisance d'oxygène dans un système d'aération par diffusion d'air quand l'augmentation du débit de chaque diffuseur est acceptable.
- Amélioration du système d'aération par diffusion d'air au moyen du remplacement d'un système mécanique par un système par diffusion d'air ou du remplacement d'un système d'aération par diffusion d'air de faible efficacité par un système à plus grande efficacité.
- Amélioration de l'aérateur mécanique au moyen de la remise à neuf des vieux cônes de l'appareil, de la modification de la submersion de l'aérateur et du fonctionnement de tous les aérateurs à une vitesse de rotation plus élevée.
- Réorganisation de l'espacement des aérateurs ou des diffuseurs dans le but d'éliminer les zones d'eau morte et d'améliorer le mélange.
- Augmentation de la puissance des soufflantes ou des aérateurs mécaniques existants.
- Pose de chicanes ou de dispositifs mécaniques en vue d'améliorer le mélange dans les bassins.
- Pose ou vérification de filtres à air du côté admission des soufflantes.
- Ajout de diffuseurs au système d'aération ou augmentation de la capacité par d'autres moyens.

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.4 Épuration biologique

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.4 Épuration biologique

B.5 Clarificateurs secondaires

- Inspection, entretien ou réparation des diffuseurs et de la tuyauterie de refoulement.

Quand on doit améliorer ou remplacer le système existant dans le cadre de la modernisation de la station, on trouvera dans la liste qui suit un aperçu de la règle de l'art relative à l'amélioration d'un système de transfert d'oxygène existant.

- Examen de l'état du système de transfert d'oxygène existant.
- Détermination de l'efficacité du système existant au moyen d'essais de transfert d'oxygène.
- Calcul de l'estimation de la capacité du système existant d'après l'efficacité du système.
- Estimation de l'efficacité d'autres systèmes de transfert d'oxygène.
- Détermination du caractère nécessaire et souhaitable de l'évaluation des choix en matière d'amélioration.
- Évaluation des solutions de rechange et choix de la solution la plus souhaitable.
- Évaluation des choix relatifs à la mise en œuvre de la solution retenue.
- Mise en œuvre des améliorations du système de transfert d'oxygène.
- Mise en place d'un système automatique d'oxygène dissous qui fera varier l'alimentation en air selon le niveau d'oxygène dissous dans les bassins et réduira la consommation d'énergie.

B.4.5 Fonctionnement par temps froid

Quand la température des eaux usées est froide, l'activité microbienne et l'efficacité de l'épuration diminuent. Pour prévenir les problèmes de gel et minimiser les répercussions des températures froides sur l'efficacité de l'épuration biologique, on peut placer des couvercles sur les bassins ouverts et construire un talus en terre pour isoler les bassins hors sol. Les principes discutés dans cette règle de l'art s'appliquent aux STEPs dans n'importe quelle condition météorologique.

B.5 Clarificateurs secondaires

B.5.1 Modifications aux clarificateurs

Parmi les modifications qui se sont avérées efficaces en ce qui a trait à l'amélioration de l'efficacité et de la capacité des clarificateurs de stations d'épuration de eaux usées existantes, on retrouve ce qui suit (Daigger et Buttz, 1992).

- Il est possible de diviser l'influent lorsque la capacité des clarificateurs existants n'est pas entièrement utilisée en raison de la division inégale et incontrôlée du flux. Il existe plusieurs techniques pertinentes, notamment la division du flux à l'aide de plusieurs déversoirs ou d'un orifice avec débitmètre et soupape de régulation de débit sur l'influent de chaque cellule de traitement. Il faut une analyse hydraulique pour vérifier que la charge hydraulique disponible est adéquate et concevoir un système efficace.
- La mise en marche ou l'arrêt d'une pompe à vitesse constante crée des variations rapides du débit. Il est possible de mettre en œuvre du pompage à vitesse variable pour adoucir et réguler les variations. Une des méthodes qui permet ce type de pompage consiste à prévoir des pompes à vitesse réglable, le nombre et la vitesse des pompes étant déterminés par le niveau du fluide dans une bêche d'aspiration en aval. Il est également possible d'accoupler des pompes à vitesse constante et de recirculer le débit pompé qui excède l'influent dans la bêche d'aspiration des pompes. On remarque que la mise en place d'un système de pompage à vitesse variable peut faire augmenter la complexité mécanique de la station et entraîner l'augmentation des coûts d'E et E.
- On peut inclure dans le clarificateur un bassin de floculation de dimensions appropriées qui minimisera la présence dans l'effluent de matières en suspension dispersées.
- Des chicanes dans l'admission peuvent servir à dissiper l'énergie contenue dans l'influent et à répartir celui-ci de façon qu'il entre uniformément dans le clarificateur. Dans le cas des clarificateurs circulaires, une chicane

annulaire supportée par les mécanismes de raclage de boues s'est également avérée utile pour ce qui est de dissiper l'énergie à l'admission et de perturber le courant de densité. Les chicanes placées à la sortie sont utiles lorsqu'il s'agit d'éloigner les flux de matières solides de l'endroit où a lieu le soutirage de l'effluent du clarificateur. On utilise couramment deux types de chicanes d'effluent : la chicane McKinney, qui est orientée à l'horizontale et se trouve immédiatement sous le déversoir de l'effluent, et la chicane Stanford, qui est orientée à un angle de 45 degrés et généralement placée plus bas sur la paroi du clarificateur.

- Les décanteurs à tubes ou à plaques agissent comme des clarificateurs peu profonds et améliorent l'efficacité des clarificateurs existants en augmentant l'aire efficace de clarification. Il est également possible de modifier partiellement le modèle d'écoulement hydraulique dans le clarificateur et d'améliorer l'efficacité de ce dernier. Les décanteurs à tubes ne sont pas efficaces en ce qui a trait aux pannes d'épaississement.
- Des pompes de BAE et de BAR distinctes avec débitmètre procurent la souplesse requise pour optimiser chaque fonction.
- On peut ajouter un polymère pour améliorer les caractéristiques de sédimentation des boues.
- La mise en place d'un système d'enlèvement rapide des boues peut réduire le niveau du lit de boue dans le clarificateur, ce qui empêche le lit d'être emporté par les eaux par fort débit.
- Quand l'aptitude des boues à sédimenter est une des causes de la réduction de la capacité du clarificateur, il faut envisager la mise en place d'une zone sélective pour améliorer la sédimentation.

Avant d'ajouter des clarificateurs, ce qui entraîne des dépenses d'immobilisations élevées, il faut étudier soigneusement la possibilité de recourir aux mesures d'optimisation qui précèdent.

Wahlberg (1998) a mis au point un protocole qui peut servir à optimiser des clarificateurs.

B.5.2 Courants hydrauliques excessifs dans les clarificateurs

On peut utiliser des essais colorimétriques pour repérer les courants hydrauliques excessifs. Parmi les modifications qui permettent de corriger les problèmes de courants hydrauliques, on retrouve la modification de l'admission de manière à répartir le flux entrant sur toute la surface de section transversale, tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical, tout en minimisant le court-circuitage et la turbulence par l'ajout de chicanes à l'admission ou à la sortie, ou en relocalisant ou en ajoutant des déversoirs et en obturant les déversoirs d'angle. Quand on constate la présence d'un court-circuitage ou d'un courant de densité des boues, on doit poser des chicanes qui préviendront le court-circuitage et une mauvaise élimination des matières solides. Les chicanes et les déflecteurs de flux peuvent aussi permettre de répartir le flux également sur toute la largeur du clarificateur.

B.5.3 Prévention du gonflement des boues

Selon une idée fautive liée à l'efficacité des clarificateurs dans un système à biomasse en suspension, la perte de matières solides est le résultat d'une panne de clarificateur, alors qu'elle est en réalité souvent due à de mauvaises propriétés de sédimentation des boues. La présence de quantités excessives de micro-organismes filamenteux peut être la cause de la mauvaise sédimentation de la biomasse. En améliorant les propriétés de sédimentation des boues, on augmente la concentration des matières solides en suspension dans la liqueur mixte qu'il est possible de maintenir dans le système, ce qui permet d'augmenter la charge organique du système et offre la possibilité d'augmenter la capacité de la station sans augmenter le volume des bassins. Dans le cas d'un système nitrifiant, l'augmentation de la concentration des matières solides en suspension dans la liqueur mixte permet à la nitrification de s'accomplir dans des temps de rétention hydraulique (TRH) plus courts. On peut aussi appliquer une charge hydraulique plus élevée au clarificateur

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.5 Clarificateurs secondaires

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.5 Clarificateurs secondaires

secondaire. Il existe plusieurs mesures de prévention du gonflement des boues, notamment :

- La chloration des boues activées de retour ou de la liqueur mixte dans le réacteur;
- La modification des conditions environnementales (p. ex. l'ajout de nutriments, y compris l'azote, le phosphore et l'oxygène dissous);
- L'introduction d'un gradient de charge organique par l'ajout d'un sélecteur au système à biomasse en suspension.
- La mise en œuvre d'une mise au rebut sélective dans le but d'extraire du système les micro-organismes qui produisent de la mousse ou de l'écume;
- L'élimination des obstacles au libre passage de la mousse ou de l'écume à travers le système de bioréacteurs et de clarificateurs secondaires jusqu'à un endroit où elle peut être éliminée du système; et
- L'abandon de la pratique qui consiste à faire décanter la boue humique dans le système de traitement primaire.

On doit effectuer régulièrement des examens microscopiques qui permettent de surveiller la biomasse et de détecter tout gonflement des boues dû à des organismes filamenteux. Les méthodes à utiliser sont décrites dans le *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separations Problems* (Lewis Publishers, 2003) et dans Dynamic Corp (1987), de même que les choix en matière de prévention du gonflement des boues.

B.5.4 Souplesse inadéquate des boues de retour et des boues excédentaires

Selon le document intitulé *Assessment of Factors Affecting the Performance of Ontario Sewage Treatment Facilities* (XCG, 1992), le manque d'instruments permettant de mesurer les débits de boues de retour et de boues excédentaires constituait la limitation la plus sérieuse dans les petites STEP utilisant un système de recirculation des boues par émulsion. Sans la connaissance de ces débits, il est difficile d'effectuer les réglages permettant de tenir compte des modifications

des caractéristiques de débit ou de sédimentation, ou de contrôler l'inventaire des matières solides dans la station.

Le flux des boues recirculées sert à réguler la répartition des boues entre le bassin d'aération et le clarificateur. La souplesse des boues de retour est importante lorsqu'il s'agit de tenir compte en temps opportun de conditions opératoires défavorables. Quand la capacité de pompage des boues de retour limite les performances de la station à cause de son insuffisance ou de sa rigidité, on peut ajouter de la tuyauterie et du pompage de boues auxiliaires ou bien augmenter le diamètre de l'impulseur ou la puissance du moteur, ou les deux à la fois, des pompes à boue existantes. Parmi les modifications possibles qui permettront d'améliorer la souplesse des BAR, mentionnons :

- Le recyclage du flux autour d'une pompe à vitesse constante;
- L'utilisation de pompes munies d'un entraînement à vitesse variable;
- La mise en place d'horloges enregistreuses servant à contrôler le fonctionnement des soupapes (pompes à émulsion d'air);
- L'utilisation de plusieurs pompes pour le pompage des BAR; et
- La possibilité de mesurer le débit en permanence.

En réglant la vitesse de recirculation des boues, il est possible de maintenir le lit de boues à un niveau optimal dans le clarificateur secondaire. Cela réduit les taux de pompage de BAR et la quantité d'énergie utilisée.

Pour améliorer la souplesse de l'évacuation de boues, on peut prévoir des pompes à boues excédentaires et des pompes à boues de retour distinctes, ce qui permettra d'optimiser chaque fonction. Dans les stations de petite à moyenne taille, ce sont ordinairement les pompes volumétriques qui sont les plus appropriées. Des entraînements à vitesse variable, des minuteriers ou une combinaison des deux peuvent offrir la souplesse nécessaire.

Les boues excédentaires soutirées sont ordinairement dirigées vers une installation de traitement des boues, telle qu'une installation d'épaississement, de digestion ou de déshydratation, avant leur élimination définitive. On ne devrait pas avoir à modifier le fonctionnement du processus biologique, à cause des limitations propres aux installations de soutirage, de traitement et d'élimination des boues.

B.6 Filtration tertiaire

La filtration sur milieu granulaire a toujours servi à prévenir les rejets de matières solides en suspension et de phosphore par les STEP. Divers facteurs influent sur l'efficacité des filtres, notamment la grosseur et la nature des particules à enlever, le taux de filtration, la grosseur et le type de milieu, et l'épaisseur du lit filtrant. La qualité de l'effluent est fonction du procédé d'épuration biologique en amont, de l'utilisation d'un pré-traitement chimique avant la filtration et du filtre lui-même. Il est possible d'améliorer l'élimination du PT et des TSS en ajoutant des polymères ou en utilisant un coagulant en deux points (c.-à-d. ajout de coagulant avant la sédimentation et à l'effluent secondaire avant la filtration tertiaire).

En effectuant les lavages à contre-courant durant les heures creuses, on réduit les coûts d'énergie liés au fonctionnement des pompes, parce que les tarifs unitaires sont alors plus bas; il n'y a toutefois aucune réduction de la consommation d'énergie ou d'eau. L'aptitude à procéder au nettoyage des filtres durant les heures creuses est influencée par le stockage disponible et les concentrations dans l'effluent. On peut aussi utiliser un réservoir surélevé pour emmagasiner durant les périodes de faible demande de l'eau de lavage qui sera utilisée durant les périodes de pointe.

B.7 Désinfection

On peut utiliser un certain nombre de procédés pour la désinfection. La chloration est le procédé le plus utilisé. Comme les chloramines et les effluents municipaux chlorés sont considérés être des substances toxiques en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE) (ACEPU, 2003), il est souvent nécessaire, lorsqu'on utilise le chlore, d'enlever le surplus à l'aide d'un agent de déchloration une fois qu'on a atteint un niveau acceptable de réduction des agents pathogènes. La désinfection par irradiation aux rayons ultraviolets s'est répandue ces dernières années à cause de la faiblesse des coûts d'une exploitation permettant d'obtenir un effluent non toxique.

B.7.1 Chloration-déchloration

La régulation proportionnelle au débit ou au moyen du chlore résiduel de l'adjonction de produits chimiques visant à satisfaire aux exigences prévient l'utilisation excessive de produits chimiques. Il y a alors diminution de l'utilisation de ces produits durant les périodes de la journée au cours desquelles les débits sont plus faibles ou les besoins de produits chimiques ne sont pas élevés. En améliorant le mélange, on maintient l'efficacité de l'adjonction de produits chimiques, tout en réduisant la quantité ajoutée.

Parmi les autres facteurs qui peuvent influencer sur l'efficacité de la désinfection, on retrouve le court-circuitage, le dosage du chlore et la durée du temps de contact. On peut utiliser un traceur colorant pour déterminer l'ampleur du court-circuitage et le rapport entre le temps de contact théorique et le temps réel. On peut poser des chicanes qui faciliteront l'écoulement piston. Le mélange initial doit être très rapide et complet. On peut relocaliser les diffuseurs à un endroit où la turbulence est plus forte. Parmi les choix en matière d'amélioration du mélange, mentionnons les mélangeurs supplémentaires

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.5 Clarificateurs secondaires

B.6 Filtration tertiaire

B.7 Désinfection

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.7 Désinfection

B.8 Épaississement et déshydratation des boues

et les systèmes de mélange à grande vitesse. Le dosage requis varie selon la qualité de l'eau, les conditions de mélange, la température, le pH, le temps de contact et le niveau de désinfection requis. La quantité d'agent de déchloration utilisée dépend du dosage de chlore.

Il est possible d'améliorer la souplesse du procédé de chloration ou de déchloration en prévoyant plusieurs bassins de mélange et un système d'ajout de produits chimiques, de même que la tuyauterie et la robinetterie requises pour isoler un bassin de mélange ou un système de dosage de réactif (un chlorateur, par exemple) pour les besoins de l'entretien.

B.7.2 Irradiation aux rayons ultraviolets

Un entretien et un nettoyage inadéquat peuvent réduire l'efficacité d'un système aux rayons UV. Il faut nettoyer les tubes et les lampes aux rayons ultraviolets souvent, et remplacer les lampes régulièrement pour maintenir à un niveau élevé l'intensité du rayonnement transféré aux eaux usées. L'utilisation de fer dans le procédé pour éliminer le phosphore peut faire augmenter la fréquence du nettoyage des lampes dans les systèmes qui sont nettoyés à la main, puisque le fer résiduel dans l'effluent peut se déposer sur le manchon des lampes. Quand cela pose problème, on peut utiliser de l'alun au lieu de sels de fer. On peut utiliser des déversoirs et des chicanes dans les réacteurs UV pour répartir le débit uniformément dans les réacteurs; on peut aussi régler l'espacement des lampes.

B.8 Épaississement et déshydratation des boues

Dans le cas des procédés d'épaississement ou de déshydratation des boues, que ce soit par gravité ou par des moyens mécaniques (flottation à l'air dissous, courroie gravitaire, tambours rotatifs, centrifugation, filtres à bande presseuse ou filtres-presses), l'objectif en matière d'optimisation consiste à obtenir des concentrations maximales de boues à des charges hydrauliques maximales, tout en captant les solides de manière satisfaisante et en minimisant le dosage de produit chimique. Quel que soit le procédé unitaire utilisé, il est essentiel de procéder à des essais de floculation pour s'assurer d'utiliser le dosage optimal du bon produit chimique. La fréquence des essais dépend de la variabilité des boues en cours de traitement.

Il est également important de moduler le dosage du produit chimique en fonction de la charge de matières solides de la cellule d'épaississement. Les procédés d'épaississement de boues activées dont la concentration peut varier beaucoup et rapidement exigent des réglages plus fréquents des dosages de produit chimique que les procédés de déshydratation de boues qui ont séjourné longtemps dans un digesteur et y ont été bien mélangées. Il a été démontré que l'automatisation des doseurs de produit chimique utilisés dans l'épaississement ou la déshydratation des boues était avantageuse en ce qui a trait à la réduction des dosages, à l'amélioration du captage ainsi qu'à la production d'un gâteau et d'un centrat ou filtrat de qualité plus uniforme (WERF, 2001); l'entretien des instruments requis pour l'automatisation des procédés est toutefois vorace en temps.

Les procédés d'épaississement ou de déshydratation des boues sont très sensibles aux variations du débit et du chargement général. La mise en place en amont des procédés d'épaississement et de déshydratation d'installations d'égalisation servant à minimiser les variations de la concentration et du débit des boues permettra d'améliorer le rendement des procédés.

B.9 Digestion des boues

Dans un digesteur anaérobie, le mélange est souvent médiocre (Monteith et Stephenson, 1981) à cause de l'accumulation d'écume, de sables et autres matières, et des intrants énergétiques relativement faibles.

L'amélioration du malaxage grâce à la pose en rattrapage de mélangeurs mécaniques de gaz ou le nettoyage du digesteur dans le but d'enlever les matières accumulées permet souvent d'améliorer de façon marquée les performances du réservoir. Bien que le mélange soit plus intensif dans un digesteur aérobie pour faire en sorte que les micro-organismes disposent d'un volume adéquat d'oxygène, les gros sables et l'écume peuvent s'accumuler aussi dans ces réacteurs et réduire le volume disponible. On doit procéder à des essais par injection de traceur pour évaluer les caractéristiques de mélange dans les digesteurs, tant anaérobies qu'aérobies, et évaluer les avantages de l'amélioration du malaxage.

Une mauvaise répartition du débit ou du chargement général entre plusieurs digesteurs peut surcharger ou sous-charger certains réacteurs. L'automatisation des cycles d'alimentation et la surveillance en ligne de la concentration des boues brutes provenant des bassins de décantation ou des épaisseurs prévient les surcharges hydrauliques associées au pompage de boues claires.

Les bactéries méthaniques présentes dans un digesteur anaérobie sont très sensibles à la température. Il faut éviter les variations de plus de 0,5 à 1°C et il est préférable d'automatiser la régulation de la température. L'introduction fréquente par pompage de faibles volumes de boues brutes dans le digesteur prévient les changements de température associés au rajout de gros volumes de boues froides.

L'activité bactérienne dans les procédés de digestion aérobie ralentit de manière significative à basse température et cesse presque lorsque la température est inférieure à 10°C (WEF, 1990). Lorsque la température est basse, il est important que le procédé prévoie des temps de séjour plus longs dans le cas des solides pour faire en sorte que la destruction des matières volatiles et la stabilisation des boues soient adéquates.

Le fonctionnement des digesteurs, tant aérobies qu'anaérobies, à des températures thermophiles (de 50 à 60°C) entraîne une plus grande destruction des matières volatiles et une réduction accrue des organismes pathogènes à des temps de séjour plus courts. Le fonctionnement de réacteurs mésophiles existants à des températures thermophiles exige une modernisation importante des ouvrages existants et n'est pas considéré comme prévu dans l'optimisation. Dans le même ordre d'idées, il existe un certain nombre de procédés nouveaux et novateurs de traitement des boues d'égout (WERF, 1998) qui permettent d'obtenir un flux de biosolides de meilleure qualité et qu'on doit prendre en compte dans la conception de nouvelles installations ou d'agrandissements d'installations existantes, mais ils n'entrent pas dans le cadre de l'optimisation d'ouvrages existants.

B. Possibilités d'optimisation grâce à des modifications apportées aux procédés

B.9 Digestion des boues

- ASCE (American Society of Civil Engineers), 1997. *ASCE Standard Guidelines for In-Process Oxygen Transfer Testing*. Reston (Virginia).
- ACEPU (Association canadienne des eaux potables et usées), 2003. Mémoire : « Environnement Canada – Plans for Pollution Prevention Planning for Municipal Wastewater Effluents – Consultation Workshops. » Ottawa (Ontario). <<http://www.cwwa.ca/mwwe.htm>>. (le dernier accès remonte à novembre 2003)
- Cathcart, W.W. et T.E. Leonik, 1995. « Retrofitting a 1980's Wastewater Treatment Facility with a 1990's Programmable Logic Controller System – A Case Study. » *WEF Specialty Conference Series Proc.* Minneapolis, MN.
- Crosby, R.M., 1987. *The Flow Pattern Test for Clarifier Hydraulic Analysis*. Crosby and Associates, Inc. Winter Park (Floride).
- Daigger, G.T. et J.A. Buttz, 1992. *Upgrading Wastewater Treatment Plants. Water Quality Management Library*. Vol. 2. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster.
- Dynamic Corporation, 1987. *Summary Report – The Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. Préparé à l'intention de la Environmental Protection Agency des États-Unis, juillet. Washington, DC.
- Ekama, G.A., J.L. Barnard., F.W. Gunthert, P. Krebs, J.A. McCorquodale, D.S. Parker, et E.J. Wahlberg, « Secondary Settling Tanks: Theory, Modelling, Design and Operation », IAWQ Scientific and Technical Report No. 6, 1997. Londres, Grande Bretagne.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1979a. *Evaluation of Operation and Maintenance Factors Limiting Biological Wastewater Treatment Plant Performance*, EPA-600/2-79-078. Alexandria (Virginie)
- _____, 1979. *Evaluation of Operation and Maintenance Factors Limiting Municipal Wastewater Treatment Plant Performance*, Phase II, EPA-600/2-80-129.
- _____, 1982. *Handbook for Identification and Correction of Typical Design Deficiencies at Municipal Wastewater Treatment Facilities*. EPA-625/6-82-007.
- _____, 1984. *Handbook for Improving POTW Performance Using the Composite Correction Program Approach*, EPA/625/6-84-008.
- _____, 1985. *Handbook for Improving POTW Performance*, Water Pollution Control Federation.
- _____, 1989. *Handbook Retrofitting POTWs*, EPA-625/6-89-020.
- EPRI (Electric Power Research Institute), 1996. *Water and Wastewater Industries: Characteristics and Energy Management Opportunities*, Community Environmental Center de l'EPRI. Palo Alto (Californie).
- Forest, R., Ville de Montréal, communication personnelle, 2003.
- Irrinki, S., J. Foess et J. Dudley, 2002. « Plant Optimization Tools in the New Millennium. » Poster. *Proc. Water Environ. Fed. 75th Annu. Conf. Exposition* [CD-ROM], Chicago, Illinois.
- Jenkins, D., G.R. Michael, T.D. Glen, 2003. *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems* 3^{ème} édition, Lewis Publishers (disponible à l'imprimerie du CNRC, Ottawa [Ontario]).
- Keinath, T.M., 1985. *Operational Dynamics of Secondary Clarifiers*, Journal – Water Pollution Control Federation, 57(7), 770. Alexandria (Virginie)
- MEEO, Ontario (ministère de l'Environnement et de l'Énergie), 1996. *Managers Guide to Sewage Treatment Plant Optimization*. Toronto (Ontario).
- _____, 1997. *Guide to Resource Conservation and Cost Savings Opportunities in the Water and Wastewater Sector*. Toronto (Ontario).
- Monteith, H.D. et Stephenson J.P., 1981. *Mixing Efficiencies in Full-Scale Anaerobic Digesters by Tracer Methods*, J. Wat. Pollut. Con. Fed., 53(1), 78-84.
- Phagoo, D.R., M. Jones et A. Ho, 1996. *Demonstration of On/Off Aeration at a Municipal STP in Ontario for Denitrification and Energy Savings: Status Report*. Présenté au 25^e symposium technique annuel de la WEAO, à Toronto (Ontario).

Bibliographie

- Rowland, I. et R. Strongman, 2000. *Southern Water Faces the Small Works Challenge*. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 41(1): 33-39. Londres, Grande Bretagne
- Spiers, G.W. et J.P. Stephenson, 1985. « Operational Audit Assists Plant Selection for Demonstration of Energy Savings and Improved Control » et « Instrumentation and Control for Water and Wastewater Treatment and Transport Systems. » *Proceedings of the 4th IAWPRC Workshop*. Publié chez R.A.R. Drake. Houston (TX) et Denver (CO). Du 27 avril au 4 mai 1985.
- Wahlberg, E.J., 1998, *Clarifier Capacity Assessment and Optimization Protocol*. Présenté à l'atelier de la WERF sur la formulation d'un programme de recherche relatif à l'élimination des goulots d'étranglement, à l'optimisation et à la reclassification des stations d'épuration des eaux usées existantes.
- Wahlberg, E.J., D.T. Merritt et D.S. Parker, 1995. *Troubleshooting Activated Sludge Secondary Clarifier Performance Using Simple Diagnostic Tools*, *Proceedings of the 68th Annual WEF Conference and Exposition*, Miami, Floride.
- WEAO (Water Environment Association of Ontario), 1996. *Guidance Manual for Sewage Treatment Plant Liquid Train Process Audits*. Milton, Ontario.
- WEAO Manual, 1996, *Training Operators on Problem Solving Skills*. Milton (Ontario).
- WEF, 1990. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*, Manual of Practice #11. Milton (Ontario).
- WEF, 1995. « Automating to Improve Water Quality. » *WEF Specialty Conference Series Proceedings*. Minneapolis, Minnesota, juin.
- WEF, 1997a. *Automated Process Control Strategies*. Publication spéciale. Alexandria (Virginie).
- _____, 1997b. *Benchmarking Wastewater Operations: Collection Treatment and Biosolids Management*, Rapport 96-CTS-ST.
- _____, 1998. *Biosolids Management: Assessment of Innovative Processes*, projet numéro 96-REM-1.
- WERF, 2001. *Thickening and Dewatering Processes: How to Evaluate and Implement an Automation Package*, projet numéro 98-REM-3. Alexandria (Virginie).
- Wheeler, G.P. et B.A. Hegg, 1999. *Upgrading Existing Secondary Clarifiers to Enhance Process Controllability to Support Nitrification*. WEFTEC. Alexandria (Virginie).
- XCG Consultants Ltd., 1992. *Assessment of Factors Affecting the Performance of Ontario Sewage Treatment Facilities*. Ontario.
- XCG Consultants Ltd., 2000a. *Optimization and Capacity Assessment Study of the Duffin Creek WPCP*. Ontario.
- XCG Consultants Ltd., 2000b. *Ayr Wastewater Treatment Plant Process Review*. Rapport présenté à la municipalité régionale de Waterloo, janvier. Ontario.
- XCG Consultants Ltd., 2002. *Assessment of the Potential Capacity of the Orangeville WPCP*. Document technique n° 1. Ontario.
- XCG Consultants Ltd. et Hydromantis Inc., 2000. *Class EA Project File Ayr Wastewater Treatment Capacity Increase*. Ébauche. Ontario.