

OPTIMISATION DU LAGUNAGE

UNE RÈGLE DE L'ART DU GUIDE NATIONAL POUR DES
INFRASTRUCTURES MUNICIPALES DURABLES



Optimisation du lagunage

Publication n° 1.0

Date de publication : Août 2004

© 2004 Fédération canadienne des municipalités et le Conseil national de recherches du Canada

ISBN 1-897094-67-1

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.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	v
Remerciements.....	vii
Résumé	xi
1. Généralités	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Objet et portée.....	1
1.3 Mode d'utilisation du document	2
1.4 Glossaire.....	2
2. Justification	5
2.1 Renseignements généraux	5
2.2 Avantages prévus	6
2.3 Risques.....	6
3. Description du travail	7
3.1 Processus qui ont lieu dans un bassin de lagunage d'eaux usées	7
3.2 Types, conception et efficacité des bassins de lagunage	8
3.2.1 Bassins de lagunage à microphytes.....	8
3.2.2 Étangs aérés	9
3.2.3 Étangs aérobies	9
3.2.4 Bassins anaérobies	9
3.2.5 Bassins de lagunage à rétention complète.....	11
3.2.6 Bassins de lagunage à vidange contrôlée	11
3.2.7 Bassins de lagunage à vidange continue.....	11
3.3 Surveillance des bassins de lagunage.....	13
3.3.1 Endroits, type et fréquence des échantillonnages.....	13
3.3.2 Mesure des débits	17
3.4 Enlèvement des boues des bassins de lagunage	17
3.5 Optimisation visant à améliorer la qualité de l'effluent.....	19
3.5.1 Modifications opérationnelles et modifications de conception mineures.....	20
3.5.2 Modifications du cheminement.....	20
3.5.3 Ajout d'aération.....	21
3.5.4 Ajout de produits chimiques	21
3.5.5 Prétraitement destiné à réduire le chargement des bassins de lagunage.....	22
3.5.6 Post-traitement destiné à améliorer la qualité de l'effluent.....	22
3.5.7 Minimisation des odeurs	23
3.6 Optimisation visant à réduire les coûts.....	23
3.7 Nouvelles tendances et besoins technologiques	24
4. Cas d'utilisation et limitations	25
4.1 Cas d'utilisation	25
4.2 Limitations	25
5. Évaluation	27
Bibliographie.....	29

TABLEAUX

Tableau 2-1 : Utilisation de bassins de lagunage au Canada.....	5
Tableau 3-1 : Paramètres de conception types des bassins de lagunage.....	10
Tableau 3-2 : Qualité d'effluent type des systèmes de lagunage	12
Tableau 3-3 : Endroits d'échantillonnage dans un bassin de lagunage et analyses connexes.....	15
Tableau 3-4 : Caractéristiques de la couleur dans les bassins de lagunage.....	16

FIGURES

Figure 3-1 : Processus d'épuration qui ont lieu dans un bassin de lagunage.....	7
Figure 3-2 : Configuration hypothétique de bassins de lagunage.....	12

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 : la voirie municipale, l'eau potable, les eaux pluviales et les eaux usées, la prise de décisions et la planification des investissements, les protocoles environnementaux et 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.

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 (InfraGuide)*, 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 du programme de gestion des biosolides d'InfraGuide, 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 d'InfraGuide 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	L'Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, Burlington (Ontario)
Timothy A. Toole	Ville de Midland (Ontario)
Bilgin Buberoglu	Conseiller technique, CNRC

De plus, le Comité aimerait exprimer une sincère appréciation aux personnes qui suivent pour leur participation aux groupes de travail.

Susheel K. Arora	Municipalité du comté de Colchester (Nouvelle-Écosse)
Vince Corkery	Ville d'Edmonton (Alberta)
André Marsan	Centre d'épuration Rive-Sud de Longueuil (Québec)
Gaétan Morin	Roche Ltée, Groupe-Conseil, Ste-Foy (Québec)
Mark Rupke	Ville de Toronto (Ontario)
Peter Seto	Institut national de recherches des eaux, Environnement Canada, Burlington (Ontario)

Le Comité aimerait remercier aussi les personnes qui suivent pour leur participation aux révisions par les pairs.

Richard Bonin	Ville de Québec (Québec)
Howard Brown	SNC Lavalin, Montréal (Québec)
Greg Bull	G. J. Bull & Associates, Whitehorse (Yukon)
Don Ford	Comté d'Oxford (Ontario)

John Hodgson	Ville d'Edmonton (Alberta)
Mano Manoharan	Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (Ontario)
Jim McLeod	Ville de Whitehorse (Yukon)
Rick Turnbull	Ontario Clean Water Agency, London (Ontario)

Cette règle de l'art n'aurait pu voir le jour sans le leadership et les directives du conseil de direction du projet, le Comité sur les infrastructures municipales et le Comité sur les relations dans le domaine des infrastructures du *Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide)* dont les membres sont comme suit :

Conseil de direction

Joe Augé	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest)
Mike Badham	Conseiller, ville de Regina (Saskatchewan)
Sherif Barakat	Conseil national de recherches, Ottawa (Ontario)
Brock Carlton	Fédération des municipalités canadiennes, Ottawa (Ontario)
Jim D'Orazio	Greater Toronto Sewer and Watermain Contractors Association, Toronto (Ontario)
Douglas P. Floyd	Delcan Corporation, Toronto (Ontario)
Derm Flynn	Ville d'Appleton (Terre-Neuve-et-Labrador)
John Hodgson	Ville d'Edmonton (Alberta)
Joan Lougheed	Conseillère, ville de Burlington (Ontario)
Saeed Mirza	Université McGill, Montréal (Québec)
Umendra Mital	Ville de Surrey (Colombie-Britannique)
René Morency	Régie des installations olympiques, Sutton (Québec)
Vaughn Paul	Services consultatifs techniques, Premières Nations d'Alberta, Edmonton (Alberta) Edmonton (Alberta)
Ric Robertshaw	Travaux publiques, région de Peel Brampton (Ontario)
Dave Rudberg	Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)
Van Simonson	Ville de Saskatoon (Saskatchewan)
Basil Stewart, maire	Ville de Summerside (Île-du-Prince-Édouard)
Serge Theriault	Gouvernement du Nouveau-Brunswick Fredericton (Nouveau-Brunswick)
Tony Varriano	Infrastructure Canada, Ottawa (Ontario)
Alec Waters	Département des infrastructures d'Alberta, Edmonton (Alberta)
Wally Wells	The Wells Infrastructure Group Inc. Toronto (Ontario)

Comité sur les infrastructures municipales :

Al Cepas	Ville d'Edmonton (Alberta)
Wayne Green	Ville de Toronto (Ontario)
Mr. Haseen Khan	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador St-John's (Terre-Neuve)
Ed S. Kovacs	Ville de Cambridge (Ontario)
Saeed Mirza	Université McGill, Montréal (Québec)
Umendra Mital	Ville de Surrey (Colombie-Britannique)
Carl Yates	Halifax Regional Water Commission (Nouvelle-Écosse)

Comité sur les relations dans le domaine des infrastructures :

Geoff Greenough	Ville de Moncton (Nouveau-Brunswick)
Barb Harris	Ville de Whitehorse (Yukon)
Joan Loughheed	Conseillère, ville de Burlington (Ontario)
Osama Moselhi	Université Concordia, Montréal (Québec)
Anne-Marie Parent	Parent Latreille et Associés, Montréal (Québec)
Konrad Siu	Ville d'Edmonton (Alberta)
Wally Wells	The Wells Infrastructure Group Inc. Toronto (Ontario)

Membre fondateur :

Association canadienne des travaux publics (ACTP)

RÉSUMÉ

Le traitement des eaux usées municipales dans des stations d'épuration (STEP) par lagunage est répandu au Canada et il est très rentable pour les petites agglomérations qui disposent de terrain à faible prix. Les bassins de lagunage coûtent généralement peu cher à construire, leur fonctionnement est simple et, lorsqu'ils sont bien conçus et bien entretenus, ils produisent un effluent traité qui peut être déversé dans l'environnement sans aucun effet nocif.

À cause de la croissance de la collectivité et de la réglementation environnementale de plus en plus stricte, il se peut qu'un système de lagunage doivent être remplacé par une station d'épuration mécanique plus coûteuse, à moins qu'il soit possible d'en améliorer l'efficacité ou d'en augmenter la capacité en ayant recours à certaines méthodes d'optimisation.

La présente règle de l'art offre aux propriétaires et aux exploitants de stations d'épuration par lagunage de l'information qui leur permettra d'optimiser l'efficacité et la capacité de leurs installations. Grâce à l'optimisation du lagunage, le propriétaire pourra peut-être :

- Obtenir de la capacité supplémentaire;
- Respecter les exigences plus strictes en matière de rejets grâce à l'amélioration de la qualité de l'effluent;
- Réduire la consommation et le coût d'énergie;
- Réduire l'utilisation et le coût de produits chimiques; et
- Réduire les émissions d'odeurs.

La conception d'une station de lagunage peut présenter diverses configurations, mais toutes les stations dépendent en grande partie des processus physiques et biologiques naturels pour épurer les eaux usées. Il est possible d'améliorer l'efficacité des bassins de lagunage :

- en procédant à des modifications opérationnelles et à des modifications mineures de la conception qui amélioreront peut-être les schémas hydrauliques et le brassage dans les bassins;
- en modifiant le cheminement de l'eau dans les systèmes de lagunage à plusieurs cellules;
- en ajoutant du matériel d'aération mécanique pour augmenter l'oxygénation naturelle dans les bassins;
- en ajoutant des produits chimiques au bassin pour améliorer la décantation et obtenir la déphosphatation; et
- en ajoutant des procédés de prétraitement ou de post-traitement pour réduire le chargement des bassins ou améliorer la qualité de l'effluent.

L'enlèvement uniforme de l'ammoniac à l'année longue pour garantir la non-toxicité de l'effluent est un important défi auquel les propriétaires et les exploitants de systèmes de lagunage sont confrontés au Canada. Il faut des méthodes rentables et éprouvées qui permettent d'améliorer l'élimination de l'ammoniac durant les mois d'hiver..

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 INTRODUCTION

Le traitement dans un système de lagunage est une des formes les plus anciennes d'épuration des eaux usées et il est toujours largement utilisé pour desservir les petites agglomérations du Canada. En 1985, on estimait qu'il y avait au pays 868 systèmes d'épuration des eaux usées par lagunage, ce qui représentait presque la moitié du nombre total de stations d'épuration (Smith et Finch, 1985). Dans les régions du Canada où il existe de grands terrains bon marché, les stations d'épuration des eaux usées (STEP) par lagunage constituent le type prédominant d'installations de traitement.

Les bassins de lagunage coûtent généralement peu cher à construire, leur fonctionnement est simple et, lorsqu'ils sont bien conçus et bien entretenus, ils produisent un effluent traité qui peut être déversé dans l'environnement sans aucun effet nocif. Cependant, à mesure que les collectivités grandissent et que la réglementation environnementale devient plus stricte, il faut souvent augmenter la capacité ou améliorer l'efficacité des bassins de lagunage. La présente règle de l'art offre des conseils relativement à la façon d'exploiter ces installations efficacement, de prévenir les problèmes et d'augmenter de façon générale l'efficacité des installations.

1.2 OBJET ET PORTÉE

La présente règle de l'art a été élaborée par la direction du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art (InfraGuide)*. Il s'agit de l'un de plus de 50 aspects déterminés par le comité technique sur les eaux pluviales et les eaux usées en rapport avec les infrastructures linéaires, l'épuration des eaux usées, l'interaction des clients et les questions relatives aux eaux réceptrices. Le sujet plus général de l'optimisation des stations d'épuration des eaux usées est traité dans une autre règle de l'art d'*InfraGuide* intitulée *Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées*.

La présente règle de l'art s'applique à l'exploitation des divers modèles ou configurations de station d'épuration des eaux usées par lagunage. Elle vise à contribuer à l'optimisation de la capacité ou de l'efficacité des installations en offrant des renseignements fondamentaux sur les processus d'épuration qui ont lieu dans un bassin de lagunage, en décrivant les différents types de bassin et en résumant les lignes directrices relatives à la conception et les attentes types en matière d'efficacité. Le document offre également des suggestions concernant l'amélioration de l'efficacité ou de la capacité d'un bassin de lagunage existant. Il se veut un supplément aux manuels plus complets de conception ou d'exploitation de bassins de lagunage, dont certains sont mentionnés dans la présente règle de l'art.

1.3 MODE D'UTILISATION DU DOCUMENT

La section 3.1 de la présente règle de l'art donne un aperçu des processus qui ont lieu dans un bassin de lagunage (décantation, oxydation biologique, etc.). On trouvera dans la section 3.2 la description générale de différentes configurations de bassins, de même que certains des avantages et des inconvénients de différents types de bassin de lagunage ainsi que l'efficacité à laquelle on doit s'attendre d'un système de lagunage. Les plages de conception types relatives à divers types de bassin de lagunage y sont également résumées, de même que l'information sur la configuration physique optimale des bassins. Le type de surveillance et d'entretien dont les bassins de lagunage doivent faire l'objet est traité à la section 3.3. La section 3.4 traite expressément des pratiques d'enlèvement des boues.

Des suggestions de façons d'aborder l'optimisation du lagunage en vue d'en améliorer l'efficacité ou d'en réduire le coût sont présentées dans les sections 3.5 et 3.6, respectivement.

1.4 GLOSSAIRE

Algue — Plante primitive, mono ou multicellulaire, habituellement aquatique, qui produit sa nourriture par photosynthèse.

Anoxique – État dans lequel l'oxygène moléculaire libre est absent. Ordinairement, l'état anoxique se différencie de la condition anaérobie par la présence d'oxygène lié, normalement sous forme de nitrate.

Azote total Kjeldahl (ATK) — Somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal dans un échantillon d'eau, habituellement exprimée en mg/L.

Bactéries anaérobies facultatives — Bactéries qui peuvent s'adapter à des conditions aérobies ou anaérobies et qui peuvent par conséquent effectuer la dégradation aérobie ou anaérobie.

Court-circuitage — Conditions de brassage non idéales dans un réservoir ou un bassin, qui font que le temps de rétention réel du liquide est inférieur au temps de rétention théorique qu'on calcule en divisant le volume par le débit d'alimentation du réservoir ou du bassin.

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

Échantillon composite — Échantillon fait de plusieurs échantillons instantanés prélevés durant un temps donné (24 heures, par exemple) et qui représente les

conditions moyennes à l'endroit de l'échantillonnage pendant le temps au cours duquel les échantillons instantanés ont été prélevés.

Échantillon instantané — Échantillon unique et représentatif des conditions à l'endroit de l'échantillonnage à un moment donné dans le temps.

Fermentation aérobie – Dégradation de la matière organique par les bactéries en présence d'oxygène moléculaire dissous.

Fermentation anaérobie — Dégradation de la matière organique complexe par des bactéries en absence d'oxygène moléculaire dissous.

Matières volatiles en suspension (MVS) — Quantité du total des solides en suspension brûlée à 550 ± 50 °C, exprimée normalement en mg/L.

Oxygène dissous (O. D.) — Concentration d'oxygène dissous dans l'eau, habituellement exprimée en mg/L. L'oxygène dissous est important pour l'épuration biologique par voie aérobie (« avec air »). Une certaine concentration d'OD adéquate est importante pour la vie aquatique dans le cours d'eau récepteur.

Phosphore total (PT) — Quantité totale de phosphore présente dans les eaux usées (ou l'eau) soit sous forme soluble, soit sous forme de particules, dans les composés organiques ou inorganiques (orthophosphates, métaphosphates ou polyphosphates), exprimée en mg/L.

Photosynthèse — Processus au cours duquel les plantes qui contiennent de la chlorophylle produisent des matières organiques (vivantes) complexes à partir du dioxyde de carbone, de l'eau et de sels inorganiques en utilisant la lumière du soleil comme source d'énergie. L'oxygène est un des déchets produits au cours du processus.

Temps de rétention hydraulique (TRH) — Mesure de la durée de rétention d'un volume de liquide dans un bassin ou un récipient, qu'on calcule en divisant le volume (L) du bassin ou du récipient par le débit de liquide (L/j); le TRH est exprimé soit en jours, soit en heures.

Nota : Veuillez consulter le volume "Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater" par le WEF, AWWA et APHA, 20^e édition, pour des définitions de termes supplémentaires sur le sujet.

2. JUSTIFICATION

2.1 CONTEXTE

Les stations d'épuration des eaux usées par lagunage sont une des formes les plus anciennes d'épuration des eaux usées et leur utilisation est répandue au Canada de nos jours. Smith et Finch (1985) ont estimé que les systèmes d'épuration par lagunage représentaient environ la moitié du total des stations d'épuration des eaux usées au Canada; leur répartition est illustrée dans le tableau 2-1.

Tableau 2-1 : Utilisation du lagunage au Canada.

Endroit	Nombre de bassins de lagunage	En tant que pourcentage des installations d'épuration
Alberta	278	84
Colombie-Britannique	34	31
Manitoba	127	85
Nouveau-Brunswick	58	63
Terre-Neuve	1	2
Territoires du Nord-Ouest	15	71
Nouvelle-Écosse	14	16
Ontario	128	33
Île-du-Prince-Édouard	17	9
Québec	59	21
Saskatchewan	129	92
Territoire du Yukon	8	70
Canada	868	48

Bien qu'il semble que la moitié de toutes les stations d'épuration soit des étangs de stabilisation, la proportion des volumes traités que ceux-ci représentent est plus faible. Par exemple, selon le *Report on the 1991 Discharges from Municipal Sewage Treatment Plants in Ontario* publié par le ministère de l'Environnement de l'Ontario en septembre 1993, la répartition des différents types de traitement du débit d'eaux d'égout (double filtration à courant inverse) en Ontario (1991) s'établit comme suit : primaire 18 %, secondaire 72 %, tertiaire 4,3 % et lagunage 5,7 %.

Une enquête à participation volontaire effectuée en 1999 (Environnement Canada, 1999) a permis de recenser 504 étangs de stabilisation d'eaux usées dans les municipalités canadiennes dont la population dépasse 1 000 habitants. Il se peut que le nombre plus faible d'étangs qu'on retrouve dans la base de données d'Environnement Canada reflète l'exclusion de nombreux petits systèmes et la conversion de certains systèmes en stations mécaniques durant les années écoulées entre-temps, bien que depuis 1985 un certain nombre de bassins de

lagunage aient été construits au Québec pour desservir de petites agglomérations (Morin, 2003).

Les systèmes de lagunage sont simples et peu coûteux à faire fonctionner et à entretenir. Plusieurs processus d'épuration ont lieu simultanément dans un bassin de lagunage, notamment la sédimentation, la biofloculation, la précipitation chimique, l'oxydation biologique, la fermentation et la désinfection. On considère souvent que les bassins de lagunage sont des processus d'épuration passive sur lesquels le conducteur d'installation exerce un contrôle limité; celui-ci peut toutefois prendre des mesures destinées à améliorer l'efficacité, à réduire le coût et à optimiser le lagunage de façon générale.

2.2 AVANTAGES PRÉVUS

Les améliorations apportées au lagunage pourraient peut-être permettre :

- d'augmenter la capacité de la station;
- d'améliorer la qualité de l'effluent afin de réduire les impacts sur l'environnement naturel et de respecter les exigences plus strictes liées au permis;
- de réduire la consommation et les coûts d'énergie;
- de réduire l'utilisation et les coûts de produits chimiques; et
- de réduire les émissions d'odeurs.

2.3 RISQUES

Une station d'épuration des eaux usées par lagunage peut produire un effluent de bonne qualité qui aura un impact minimal sur l'environnement quand la station est bien conçue, bien exploitée et bien entretenue. Ce niveau d'efficacité peut être atteint à un coût relativement faible en comparaison avec les systèmes d'épuration mécanique classiques, dont les besoins en matière d'énergie, d'entretien et de fonctionnement sont importants. À l'inverse, le mauvais fonctionnement d'un bassin de lagunage peut produire des odeurs et entraîner le rejet d'un effluent mal épuré qui pourra avoir un effet nocif sur la vie aquatique dans le cours d'eau récepteur.

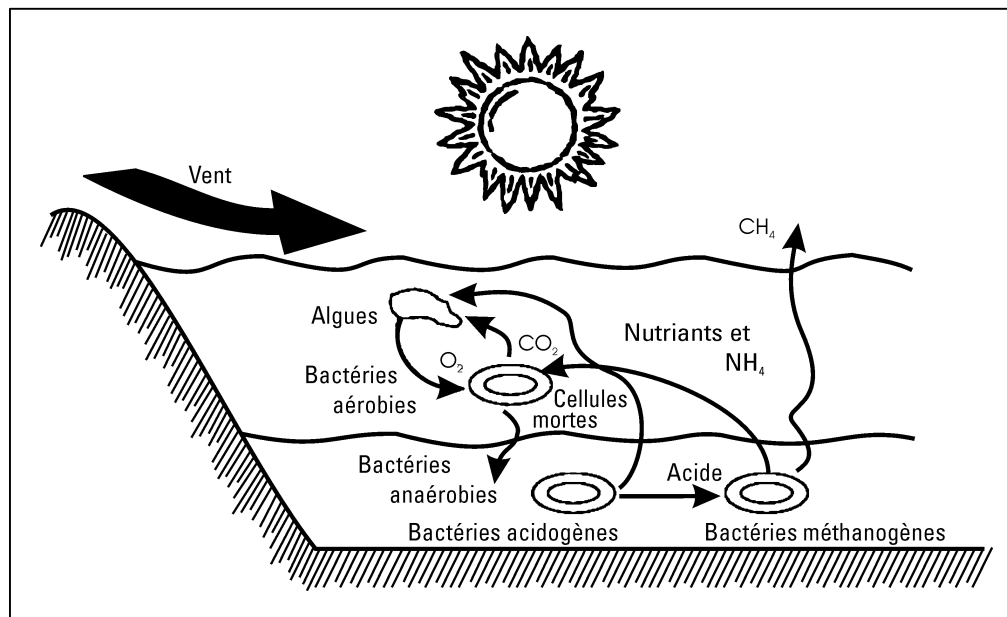
Au fur et à mesure de la croissance d'une collectivité desservie par un système d'épuration des eaux usées par lagunage ou de l'imposition d'exigences plus strictes relativement à l'effluent par les organismes de réglementation, il se peut qu'on doive envisager d'améliorer l'installation et d'en faire une station d'épuration mécanique quand il est impossible d'en améliorer l'efficacité ou d'en augmenter la capacité en optimisant le fonctionnement ou en agrandissant l'installation. Cela entraînera d'importantes immobilisations et des coûts de fonctionnement plus élevés pour la collectivité.

3. DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 PROCESSUS QUI ONT LIEU DANS UN BASSIN DE LAGUNAGE D'EAUX USÉES

L'épuration des eaux usées dans un système de lagunage résulte d'une combinaison complexe de processus physiques, chimiques et biologiques qui sont influencés par les conditions météorologiques, le type et la configuration des bassins, et la conception du système. La figure 3-1 illustre le diagramme simplifié des principaux processus qui ont lieu dans un bassin de lagunage.

Figure 3-1 : Processus d'épuration qui ont lieu dans un bassin de lagunage.



Source : tiré de l'EPA (1977).

Lorsque les eaux usées pénètrent dans le bassin de lagunage, les matières solides les plus lourdes se déposent au fond et forment une couche de boues. Dans les bassins dans lesquels on a ajouté un produit chimique, tel que l'alun, pour précipiter le phosphore, le floc de phosphore précipité et d'hydroxyde d'aluminium s'accumule lui aussi dans la couche de boues. Celle-ci est anaérobie et contient des bactéries qui fermentent la matière organique contenue dans les matières solides décantées, causant la solubilisation des matières organiques en acides organiques et produisant du méthane. Les bactéries anaérobies produisent également du sulfure d'hydrogène à partir de la sulfatoréduction. C'est la source la plus répandue d'odeurs dans les lagunes (Heinke et coll., 1988). L'activité anaérobie dans la couche de boues est très sensible à la température, cessant presque par temps froid durant les mois d'hiver. Dans ces conditions, il y a très peu de décomposition de la matière organique. Lorsque la température augmente au printemps, l'activité anaérobie augmente elle aussi,

libérant de la matière organique soluble et peut-être du sulfure d'hydrogène dans la colonne d'eau au-dessus de la couche de boues.

La colonne d'eau au-dessus de la couche de boues contient généralement de l'oxygène en raison du mouvement du vent à la surface de l'eau et de la fonction chlorophyllienne des algues présentes dans le bassin de lagunage. Les bactéries aérobies qui se trouvent dans le bassin utilisent l'oxygène présent dans la couche aérobie pour oxyder la matière organique présente dans les eaux usées ou libérée par les bactéries anaérobies de la couche de boues. Certains documents (EPA, 2002) mentionnent une couche anoxique intermédiaire entre les zones aérobie et anaérobie, qu'on appelle la zone facultative et dans laquelle les bactéries anaérobies facultatives consomment la matière organique en absence d'oxygène moléculaire. Les bactéries et les algues qui croissent à la suite de la dégradation de la matière organique et de la fonction chlorophyllienne forment un floc naturellement ou conjointement avec tout produit chimique ajouté pour produire la déphosphatation et se déposent dans la couche de boues, où elles constituent une source supplémentaire de nourriture pour les bactéries anaérobies. Durant les mois d'hiver, quand la surface du bassin est recouverte de glace, le mouvement du vent ne produit aucun transfert d'oxygène dans le bassin de lagunage et l'activité photosynthétique est réduite de façon importante. L'activité biologique aérobie dans la lagune durant l'hiver est donc minimale.

Les systèmes d'épuration par lagunage produisent également une désinfection naturelle. On a signalé une destruction de colibacilles efficace à 99,99 p. 100 dans les bassins de lagunage (Feachem et coll., 1983). La désinfection s'obtient grâce à la combinaison de l'irradiation naturelle aux ultraviolets, de la température, de l'adsorption par les matières solides, d'adsorption, de décantation et d'organismes prédateurs.

3.2 TYPES, CONCEPTION ET EFFICACITÉ DES BASSINS DE LAGUNAGE

On peut classifier les bassins de lagunage selon l'environnement biologique prédominant qui existe.

3.2.1 BASSINS DE LAGUNAGE À MICROPHYTES

C'est le type de bassin de lagunage le plus répandu (EPA, 1983); la profondeur est habituellement de 1,2 à 1,5 m et une couche d'eau aérobie recouvre une couche anaérobie, qui contient les boues décantées.

3.2.2 ÉTANGS AÉRÉS

Ces étangs comportent un mode d'aération mécanique, tel que des aérateurs de surface ou des diffuseurs avec soufflante, qui augmente l'alimentation en oxygène provenant de moyens naturels, tels que la réaération en surface ou la photosynthèse. Les étangs aérés sont ordinairement de 2 à 6 m de profond et ils sont généralement suivis d'un bassin de lagunage à microphytes dans lequel les particules en suspension qui n'ont pas décanté dans l'étang aéré, brassé ou partiellement brassé, se déposent et se dégradent par voie anaérobie.

3.2.3 ÉTANGS AÉROBIES

Ces étangs sont ordinairement très peu profonds, soit de 30 à 45 cm. La faible profondeur permet à la lumière du soleil de pénétrer dans toute la profondeur et il y a de l'oxygène dissous dans toute la colonne d'eau. L'utilisation des étangs aérobies se limite généralement aux régions ensoleillées et chaudes, là où il n'y a aucun risque de couverture glacée.

3.2.4 BASSINS ANAÉROBIES

Ces bassins sont utilisés le plus souvent pour l'épuration des eaux usées industrielles ou d'un mélange d'eaux usées domestiques et d'eaux usées industrielles à forte concentration de DBO₅ (EPA, 1983). Les bassins anaérobies sont normalement de 2,5 à 5 m de profond. À cause de la profondeur et de la charge organique élevée, il n'y a aucune couche aérobie et toute l'activité biologique est anaérobie. Une épaisse couche d'écume se forme normalement à la surface d'un bassin anaérobie, ce qui aide à réduire les émissions d'odeurs. Ces bassins sont normalement utilisés pour le prétraitement et ils sont suivis d'un bassin de lagunage à microphytes ou d'un étang aérobie qui sert à éliminer la DBO₅ soluble, produite par l'activité anaérobie. Les bassins anaérobies ne sont pas couramment utilisés pour l'épuration des eaux usées domestiques et il n'en sera plus question dans la présente règle de l'art.

Le tableau 3–1 (EPA, 1983) résume certains des principaux paramètres de conception relatifs aux quatre types de bassin de lagunage décrits plus haut. On peut également classer les bassins selon le mode de vidange.

Tableau 3–1 : Paramètres de conception types des bassins de lagunage.

Type d'étang	Application	Paramètres de chargement types	Temps de rétention types	Dimensions types	Commentaires
Facultative	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eaux d'égout brutes municipales. ■ Effluent de l'épuration primaire, lits bactériens, étangs aérés ou étangs anaérobies. 	22 à 67 kg de DBO ₅ /ha/j	25 à 180 j	1,2 à 2,5 m de profond, 4 à 60 ha	<ul style="list-style-type: none"> ■ Type d'étang de stabilisation le plus souvent utilisé. ■ Peut être aérobie sur toute la profondeur quand il n'est que légèrement chargé.
Aéré	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eaux usées industrielles. ■ Étangs à microphytes surchargés. ■ Lorsque la surface de terrain disponible est limitée. 	8 à 320 kg de DBO ₅ /1000 m ³ /j	7 à 20 j	2 à 6 m de profond	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'utilisation peut varier d'un supplément de photosynthèse à un procédé de traitement par les boues activées à aération prolongée. ■ Requiert moins de surface de terrain qu'un étang à microphytes.
Aérobie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Généralement utilisé pour épurer l'effluent d'autres processus, produit un effluent à faible teneur en DBO₅ soluble et à forte teneur en algues. 	85 à 170 kg de DBO ₅ /ha/j	10 à 40 j	30 à 45 cm	<ul style="list-style-type: none"> ■ Application limitée à cause de la qualité de l'effluent. ■ Maximise la production d'algues et (quand les algues sont récoltées) l'élimination des nutriments. ■ Les chargements élevés réduisent la surface de terrain nécessaire.
Anaérobie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eaux usées industrielles 	160 à 800 kg de DBO ₅ / 1000 m ³ /j	20 à 50 j	2,5 à 5 m de profond	<ul style="list-style-type: none"> ■ La production d'odeurs est habituellement un problème. ■ Il faut normalement un traitement subséquent.

3.2.5 BASSINS DE LAGUNAGE À RÉTENTION COMPLÈTE

Ces bassins sont conçus de manière à dépendre de l'évaporation ou de l'exfiltration et il n'y a aucun rejet net d'eaux usées épurées dans l'environnement des eaux de surface. Le fonctionnement des bassins de lagunage à rétention complète requiert des conditions climatiques sèches ou des conditions géologiques favorables.

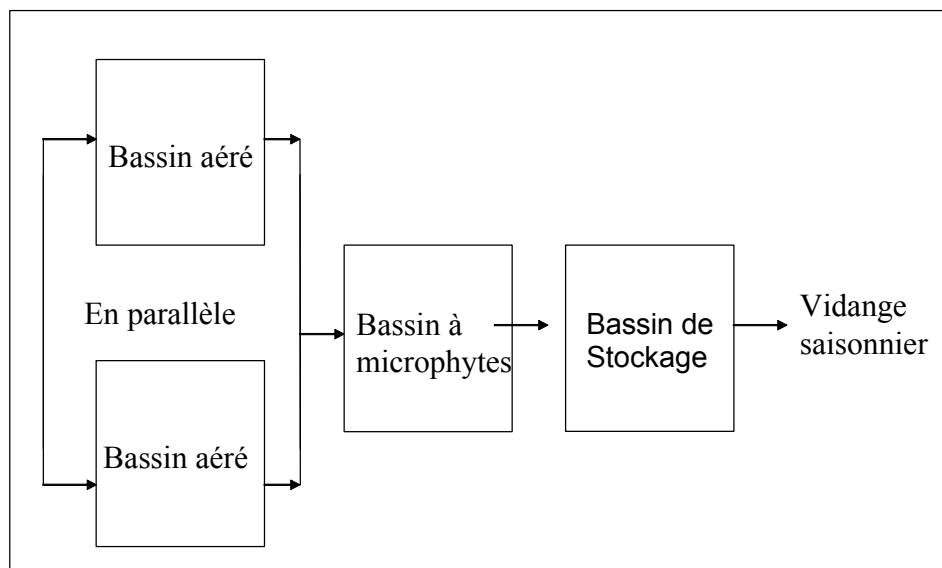
3.2.6 BASSINS DE LAGUNAGE À VIDANGE CONTRÔLÉE

Ces bassins servent à épurer et à stocker les eaux usées jusqu'à ce que l'effet de la vidange sur le cours d'eau récepteur soit minime. Généralement, la vidange du bassin a lieu lorsque le débit est élevé dans le cours d'eau récepteur (au printemps ou à l'automne) ou lorsque la température dans le cours d'eau récepteur est basse et que l'activité biologique y est minime (en hiver). Dans le cas des bassins de lagunage à vidange contrôlée, il peut y avoir une seule période de vidange par année (vidange annuelle) ou plusieurs périodes (vidanges saisonnières). Il faut absolument prévoir un volume de stockage adéquat pour prévenir toute vidange d'eaux usées épurées en dehors des périodes permises.

3.2.7 ÉTANGS À VIDANGE CONTINUE

Ces étangs fonctionnent comme les stations d'épuration classiques en ce sens qu'un volume égal au volume d'eaux usées qui entre dans le bassin est évacué vers le cours d'eau récepteur. Il n'y a aucun stockage de débit dans le bassin ou régulation des volumes évacués.

Il est possible d'utiliser un grand nombre de combinaisons de types et de configurations de bassins de lagunage, selon les conditions propres à l'emplacement. La figure 3-2 illustre une configuration de bassins de lagunage qui inclut des étangs aérés et un étang à microphytes, avec étang de stockage permettant de contrôler la vidange. Il est possible de combiner les multiples bassins de façon à obtenir un fonctionnement « en parallèle », dans lequel le débit est réparti également entre les bassins, ou un fonctionnement « en série », dans lequel la vidange d'un bassin est envoyée dans le bassin aval suivant. Dans l'illustration de la figure 3-2, les étangs aérés fonctionnent en parallèle et les bassins aérés, le bassin à microphytes et le bassin de stockage, en série.

Figure 3–2 : Configuration hypothétique de bassins de lagunage.

La configuration optimale de bassins de lagunage dépend en grande partie des exigences en matière de vidange qu'on doit respecter. Cela détermine le niveau d'épuration requis et le volume de stockage nécessaire à la minimisation de l'impact sur le cours d'eau récepteur. Dans certains cas, la modernisation d'un système de bassins de lagunage existant peut faire augmenter la capacité et produire un effluent de meilleure qualité. Le tableau 3–2 présente la qualité d'effluent type qu'il est possible d'obtenir avec différents types de bassins de lagunage. Une évaluation détaillée de l'efficacité des installations de lagunage de l'Alberta, effectuée par Smith et Finch en 1985, a montré qu'une installation de lagunage bien conçue et bien exploitée permettait aisément d'obtenir les résultats prévus.

Tableau 3–2 : Qualité d'effluent type des systèmes de lagunage.

Procédé	Paramètres d'effluent (mg/L)		
	DBO ₅ totale	SS	Phosphore total (en tant que P)
Bassin de lagunage à microphytes, à vidange continue			
• Sans élimination de P	25	30	6
• Avec élimination de P	25	30	1
Bassin de lagunage à microphytes, à vidange contrôlée			
• Sans élimination de P	25	30	-
• Avec élimination de P par dosage de produit chimique en lots	15	20	1/0,5
• Avec élimination de P par dosage de produit chimique continu	25	30	1
Étang aéré plus bassin à microphytes			
• Sans élimination de P, avec temps de rétention de 4 à 5 jours	60	100	-

Source : tiré du MEO (1984).

3.3 SURVEILLANCE DES BASSINS DE LAGUNAGE

Deux types de surveillance des systèmes à bassins de lagunage sont recommandés.

- Le contrôle des procédés renseigne le personnel d'exploitation sur l'état et l'efficacité du système, et permet la détection rapide de perturbations ou de problèmes opérationnels possibles.
- La surveillance de la conformité est requise en vertu du permis d'exploitation ou du certificat d'approbation, et l'information est communiquée à l'organisme de réglementation.

Ces deux types de surveillance exigent différents niveaux de précision. La vérification du contrôle des procédés est destinée à être utilisée par le personnel d'exploitation pour prendre des décisions d'ordre opérationnel. Les essais peuvent être effectués à l'interne à l'aide de méthodes plus rapides et plus faciles, (APHA, 1998), qui ne sont pas nécessairement conformes aux méthodes standard, mais qui procurent des résultats fiables aux conducteurs d'installation. Les essais de conformité doivent toujours être effectués par un laboratoire certifié, à l'aide des méthodes standard ou de leur équivalent. On ne doit pas communiquer les résultats des vérifications de contrôle de procédé à des fins de conformité aux autorités réglementaires.

Le tableau 3-3 présente un programme d'échantillonnage recommandé pour les systèmes de lagunage. Dans le cas de la surveillance de la conformité, on doit consulter le permis d'exploitation et s'assurer que le programme satisfait aux exigences pertinentes. La conception du programme de surveillance doit également tenir compte des variations saisonnières de la charge.

3.3.1 ENDROITS, TYPES ET FRÉQUENCES D'ÉCHANTILLONNAGE

Les endroits de l'échantillonnage servant à vérifier la conformité sont normalement précisés dans le permis d'exploitation ou le certificat d'approbation et ils incluent habituellement uniquement l'influent d'eaux d'égout brutes et l'effluent évacué du bassin de lagunage. Le permis ne requiert normalement aucun prélèvement d'échantillon intermédiaire dans les bassins de lagunage ou entre les bassins d'un système à plusieurs bassins. Le type d'échantillon à prélever (échantillon instantané ou échantillon composite) et la fréquence de l'échantillonnage peuvent également être précisés. Dans le cas contraire, on doit prélever des échantillons composites de 24 heures des eaux usées brutes et de l'effluent final à l'aide d'échantillonneurs automatiques et réfrigérés. À cause des longs temps de rétention dans les bassins de lagunage, le prélèvement d'échantillons composites proportionnels au débit n'est pas strictement nécessaire, sauf lorsqu'il est prescrit dans le permis d'exploitation.

Le prélèvement des échantillons doit se faire à un endroit représentatif du flux échantillonné. Les échantillons d'eaux d'égout brutes peuvent être prélevés au

niveau du trop-plein d'une fosse d'aspiration, dans un canal d'amenée ou dans l'évacuation de la station de pompage d'eaux d'égout brutes, dans une zone turbulente où les eaux sont bien brassées. On doit éviter de prélever des échantillons dans les bâches d'aspiration et dans les fosses d'aspiration ou de répartition, à moins que les eaux soient bien brassées dans la zone, parce que les matières solides peuvent décanter dans les zones calmes, ce qui influe sur le résultat. De même, le prélèvement des échantillons d'effluent doit se faire dans le trop-plein de l'ouvrage de régulation de la sortie d'eau ou à un endroit turbulent où l'eau est bien brassée, dans le canal d'évacuation de l'effluent. La fréquence de l'échantillonnage de l'effluent dépend du mode de vidange.

Tableau 3-3 : Endroits de l'échantillonnage dans un bassin de lagunage et analyses connexes

Endroit de l'échantillonnage	Analyses	Utilisation ⁽¹⁾	Fréquence	Type
Influent d'eaux d'égout brutes	DBO ₅	C	1/semaine	Composite 24 h
	TSS	C	1/semaine	Composite 24 h
	ATK	C	1/semaine	Composite 24 h
	PT	C	1/semaine	Composite 24 h
	pH	CP	chaque jour	Instantané
Bassin de lagunage	OD	CP	1/semaine	Instantané
	TSS	CP	1/semaine	Instantané
	MVS	CPC	1/semaine	Instantané
	pH	CP	1/semaine	Instantané
	Température	CP	1/semaine	Instantané
Effluent du bassin de lagunage (quand différent de l'effluent final)	DBOMC ₅	CP	1/semaine	Instantané
	TSS	CP	3/semaine	Instantané
	NH ₃ -N	CP	1/semaine	Instantané
	PT	CP	1/semaine	Instantané
Effluent final (durant la période de vidange)	DBOMC ₅	CP, C	1/semaine	Composite 24 h
	TSS	CPC, C	1/semaine	Composite 24 h
	NH ₃ -N	CP, C	1/semaine	Composite 24 h
	PT	CP, C	1/semaine	composite 24 h
	Ortho-P	CP	3/semaine	Composite 24 h
	pH	CP, C	3/semaine	Composite 24 h
	NO ₂ /NO ₃	C	1/semaine	Instantané
	CF/EC	CP, C	1/semaine	Composite 24 h Instantané
Remarques				
<ol style="list-style-type: none"> C – Conformité CP – Contrôle de procédé DBOMC₅ – Demande biochimique en oxygène des matières carbonées TSS – Total des solides en suspension AKT – Azote Kjeldahl total. PT – Phosphore total OD – Oxygène dissous MVS – Matières volatiles en suspension NH₃-N – Azote ammoniacal Ortho-P – Orthophosphate en tant que phosphore NO₂/NO₃ – Nitrites et nitrates CF/EC – Colibacilles fécaux /<i>E.coli</i> Il s'agit de la fréquence d'échantillonnage minimale recommandée. La surveillance au niveau d'un bassin de lagunage déterminé dépend des exigences du permis d'exploitation et doit absolument prendre en compte les dimensions et la configuration de la station et des ressources, et le personnel disponible. 				

Pour les besoins du contrôle de procédé, on doit également prélever périodiquement dans les bassins de lagunage et dans la vidange de chaque cellule des échantillons supplémentaires qui permettront d'évaluer l'état des étangs. Dans les cellules de bassin de lagunage bien brassées, on doit prélever dans chaque cellule des échantillons à de 4 à 6 endroits sur le pourtour de la cellule, selon la grosseur de la cellule, et en faire un échantillon composite à analyser. Dans les cellules qui ne sont pas bien brassées, il peut être utile de prélever des échantillons individuels sur toute la longueur de la cellule, entre l'admission et la sortie, pour déterminer la modification de la qualité de l'eau pendant que les eaux usées traversent la cellule. L'information peut contribuer à l'évaluation de l'importance du brassage qui a lieu et des avantages possibles d'une augmentation du brassage dans la cellule. Selon la profondeur de la cellule, l'échantillon doit être prélevé de 0,3 à 0,6 mètre sous la surface de l'eau, au-dessus de la couche de boues, et à une distance suffisante de la paroi du bassin pour éviter les effets du talus. La distance en question dépend de la profondeur de l'eau et de la pente du talus. Au même moment, on doit mesurer l'oxygène dissous, la température et le pH à chaque endroit à l'aide d'un équipement portatif. Les échantillons de bassin de lagunage ne doivent pas être prélevés durant ou immédiatement après des périodes de grand vent. Comme la lumière du soleil a une incidence sur la concentration d'oxygène dissous (OD) dans les bassins à microphytes, il est recommandé de mesurer l'OD deux fois durant la journée (tôt le matin et tard l'après-midi) ou de faire alterner le moment de la mesure entre les échantillonnages. On doit également observer et noter la couleur de l'eau dans le bassin, puisque cela peut fournir au conducteur de l'installation une indication de l'état du bassin, selon le résumé donné dans le tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Caractéristiques de la couleur dans un bassin de lagunage.

Couleur	Interprétation
Vert foncé scintillant	Bonnes conditions. Généralement présente lorsque le pH et l'OD sont élevés.
Vert terne à jaune	Pas très bon; le pH et l'OD sont généralement en baisse. Les algues bleues-vertes commencent à prédominer.
Ocre à brun	Peut avoir un rapport avec les algues brunes, ce qui est OK. Quand la couleur a à voir avec le silt ou l'érosion des berges, elle peut indiquer des problèmes physiques dans le bassin ou le système de collecte.
Gris à noir	Très mauvais. L'étang est septique, la concentration d'OD est pratiquement nulle.

Source : tiré de l'EPA (1977).

On doit également prélever des échantillons de la vidange de chaque bassin d'un système de lagunage, à des endroits représentatifs; on peut toutefois utiliser des échantillons instantanés au lieu d'échantillons composites à ces endroits.

3.3.2 MESURE DES DÉBITS

La mesure des débits d'alimentation du bassin de lagunage est essentielle à la détermination des chargements hydrauliques ou organiques et à la comparaison des charges avec les paramètres de conception du système. On doit également connaître les débits d'influent pour déterminer et corriger les taux de dosage de produits chimiques utilisés pour la déphosphatation continue. Il est essentiel de mesurer les débits d'évacuation du bassin de lagunage pour s'assurer de respecter les exigences relatives à l'évacuation prescrites dans le permis d'exploitation. La règle de l'art consiste à mesurer les débits à l'entrée et à la sortie des bassins de lagunage. Dans les bassins à vidange continue, la comparaison du débit d'influent et du débit d'effluent peut servir à évaluer la précision de la mesure des débits.

On peut utiliser un certain nombre de méthodes pour mesurer ou estimer les débits, notamment :

- Les compteurs de durée de fonctionnement et la capacité des pompes de stations de pompage d'eaux d'égout brutes;
- Les débitmètres magnétiques sur les évacuations de stations de pompage;
- Les compteurs de vitesse d'écoulement ou les mesures de superficie dans les canaux;
- Les divers dispositifs de mesure du débit dans un canal à surface libre, tels que les déversoirs et les canaux de jaugeage; et
- Les variations du niveau de l'eau dans les bassins de lagunage durant les vidanges ou les remplissages.

Il existe divers documents de référence, tels que Grant et Dawson (1995) sur la mise en place et l'étalonnage des débitmètres. Ceux-ci doivent être étalonnés électroniquement (élément de débit secondaire) chaque année et physiquement (élément primaire) au moins une fois, ou plus souvent quand le compteur fait l'objet de modifications physiques susceptibles d'avoir une incidence sur la précision de l'appareil.

3. 4 ENLÈVEMENT DES BOUES DES BASSINS DE LAGUNAGE

Les bassins de lagunage à microphytes ou aérobies sont destinés à accumuler des boues, parce qu'une partie du procédé d'épuration entraîne la biodégradation de la matière décantée, soit par voie anaérobie dans les systèmes à microphytes, soit par voie aérobie dans les systèmes aérobies. La vitesse d'accumulation des boues dépend de la conception du bassin de lagunage, de la concentration des eaux usées et des conditions climatiques. Dans les régions froides, les boues s'accumulent plus rapidement, parce que la vitesse de dégradation de la matière organique décantée diminue de façon importante. Dans les bassins de lagunage à microphytes, les matières solides s'accumulent généralement plus rapidement que dans les étangs aérobies, puisque les premiers comptent sur la dégradation anaérobie pour décomposer les matières décantées, ce qui se produit beaucoup plus lentement que la dégradation aérobie, qui est le processus biologique

prédominant dans les étangs aérobies. Comme les bassins de lagunage à microphytes sont généralement plus profonds que les étangs aérobies, le volume permettant le stockage des boues est plus important.

Généralement, il est peu fréquent qu'on doive enlever les boues d'un bassin de lagunage. Heinke et Smith (1988) ont suggéré que la fréquence type de l'enlèvement des boues des bassins d'un système de lagunage à court temps de détention pouvait être de 5 à 10 ans, tandis que la période pendant laquelle il n'est pas nécessaire d'enlever les boues des bassins de lagunage à long temps de rétention et à vidange saisonnière ou annuelle pouvait être encore plus longue. Au début de 2003, *InfraGuide* a procédé à l'étude des pratiques et des tendances actuelles au Canada en matière d'optimisation des stations d'épuration d'eaux usées. Parmi les 25 répondants qui exploitaient des bassins de lagunage, 32 p. 100 ont mentionné qu'ils n'avaient jamais enlevé les boues de leur bassin et 40 p. 100 d'entre eux ont indiqué le faire tous les 10 à 20 ans. Vingt pour cent des répondants qui exploitaient un système de lagunage ont mentionné une fréquence d'enlèvement des boues de cinq ans ou moins.

On doit mesurer la quantité de boues accumulées dans le bassin de lagunage environ une fois par année pour déterminer le volume et prévoir l'opération d'enlèvement des boues de façon efficace. On peut utiliser du matériel perfectionné, tel qu'un échantillonneur de profondeur, un détecteur de lit de boues ultrasonique ou optique, ou un transit, pour déterminer la quantité de boues accumulées dans un bassin de lagunage. Le « Sludge Judge », qui consiste en un tube de plastique transparent couramment utilisé pour mesurer le niveau du lit de boues dans un clarificateur, est lui aussi un outil efficace et économique qui permet d'estimer la quantité de boues décantées dans un bassin de lagunage. La méthode « de la serviette blanche » décrite par Malan (1964) est elle aussi simple et efficace. On enveloppe d'une serviette blanche le tiers inférieur d'un long poteau qu'on enfonce lentement à la verticale dans le bassin jusqu'à ce qu'il touche le fond. On le retire ensuite lentement. L'épaisseur de la couche de boues est visible à l'endroit où la serviette blanche est décolorée par les particules de boues qui y ont été emprisonnées. On doit mesurer l'épaisseur des boues à cinq ou six endroits dans le bassin, à une certaine distance de la base du talus.

Il existe deux méthodes répandues d'enlèvement des boues d'un bassin de lagunage :

- Pompage après mélange des boues avec le liquide qui reste dans le bassin de lagunage après la vidange du gros du contenu du bassin; et
- Drainage du bassin de lagunage et enlèvement des boues décantées à l'aide d'une chargeuse frontale ou d'un engin de chantier similaire.

Il se peut que les boues qui se sont accumulées pendant de nombreuses années dans un bassin de lagunage soient trop concentrées pour être pompées directement. Dans ce cas, il se peut qu'on doive mélanger les boues à l'eau du bassin de lagunage après avoir vidangé le gros du contenu du bassin. Les dragues

montés sur radeau et équipées de pompes, qu'on peut trouver dans le commerce, peuvent servir efficacement à enlever les boues des bassins de lagunage.

Dans le cas d'un système de lagunage qui comprend plusieurs bassins, chaque bassin peut être mis hors service et drainé à l'automne. Si on laisse les boues dans le bassin durant l'hiver, celles-ci pourront geler et devenir plus concentrées, ce qui en facilitera la manutention au printemps. Il faut à tout prix faire attention et s'assurer de ne pas endommager le fond et les talus du bassin de lagunage durant l'opération. Les boues liquides provenant du bassin peuvent être asséchées à l'aide d'équipements portatifs, ce qui permet de réduire les coûts associés au transport de boues diluées. Les boues qui se sont accumulées au fond d'un bassin de lagunage pendant plusieurs années présentent généralement une qualité microbiologique semblable ou supérieure à celle des boues stabilisées provenant d'ouvrages d'épuration mécanique. Dans la plupart des provinces ou territoires, ce matériau peut être épandu sur les sols ou éliminé de la même manière que les autres biosolides stabilisés. En Ontario par exemple, les matières solides enlevées d'un système de lagunage peuvent être épandues sur le sol quand le bassin n'a pas reçu d'eaux d'égout brutes depuis au moins trois mois et qu'il a été conçu et exploité conformément aux lignes directrices du MEO (MAAO, 2003). Au Québec, les matières solides enlevées des bassins de lagunage sont fréquemment asséchées (Morin, 2003). L'information obtenue dans le cadre de l'étude menée en 2003 par la direction d'*InfraGuide* indiquait que la moitié des répondants qui avaient enlevé les boues de leur bassin de lagunage épandaient le produit sur des terres agricoles, un tiers d'entre eux le déversaient dans des étangs à boues et les autres l'envoyaient à une décharge contrôlée. On doit consulter la réglementation locale avant d'éliminer ce matériau.

Les propriétaires des systèmes de lagunage doivent s'assurer que les coûts d'enlèvement des boues et la gestion des matières solides résultantes sont inclus dans leur budget d'exploitation. Les tarifs d'égout relatifs à ces systèmes doivent refléter ces coûts occasionnels.

3.5 OPTIMISATION VISANT À AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'EFFLUENT

Même s'il a été démontré qu'elles étaient très efficaces pour ce qui est de l'élimination de la DBO₅ et des matières solides en suspension présentes dans les eaux d'égout brutes, les stations d'épuration par lagunage sont moins efficaces lorsqu'il s'agit d'éliminer les nutriments tels que l'azote et le phosphore et elles peuvent libérer des concentrations élevées de particules sous forme d'algues à la fin de l'été et durant l'automne. À cause de la simplicité du fonctionnement des bassins de lagunage, le conducteur d'installation a peu de possibilités de modifier le fonctionnement et d'améliorer l'efficacité des bassins; certaines techniques d'optimisation se sont toutefois avérées efficaces pour ce qui est de l'amélioration du fonctionnement des systèmes de lagunage.

3.5.1 MODIFICATIONS OPÉRATIONNELLES ET MODIFICATIONS MINEURES DE LA CONCEPTION

Le court-circuitage qui se produit dans un bassin de lagunage à cause de la mauvaise configuration de l'entrée et de la sortie est la cause la plus répandue de la mauvaise efficacité du bassin. En répartissant mieux le débit dans le bassin, on pourra améliorer l'efficacité de façon importante dans ce cas. Les modifications qu'on peut alors effectuer sont les suivantes :

- Pose de chicanes autour de l'entrée ou de la sortie du bassin de lagunage, ou des deux à la fois;
- Relocalisation de l'entrée ou de la sortie pour minimiser le court-circuitage et le volume inutilisable;
- Ajout d'une recirculation de la sortie à l'entrée du bassin de lagunage pour améliorer le brassage;
- Ajout d'entrées ou de sorties supplémentaires;
- Passage du fonctionnement en série au fonctionnement en parallèle;
- Enlèvement des mauvaises herbes ou des matières solides accumulées qui modifient les modèles d'écoulement;
- Mise en place ou déplacement de malaxeurs ou d'aérateurs dans un bassin pour favoriser une meilleure répartition du débit; et
- Évacuation à partir d'un niveau inférieur à celui de la fleur d'eau, pour réduire la concentration de matières solides dans l'effluent (il faut absolument faire attention de ne pas évacuer de boues).

Un simple test au traceur à l'aide d'une teinture visible, telle que la Rhodamine WT, peut permettre d'évaluer le degré de court-circuitage dans un bassin de lagunage. Les chicanes en textile bon marché ou en plastique peuvent améliorer efficacement la répartition du débit dans un bassin. Il existe des malaxeurs et des systèmes d'aération à énergie solaire ou éolienne qui permettent de réduire les coûts d'exploitation. Ils sont particulièrement rentables aux endroits éloignés où il se peut qu'on ne puisse trouver facilement une énergie électrique convenable.

3.5.2 MODIFICATION DU CHEMINEMENT DES EAUX USÉES

Des études ont démontré que c'était durant les mois d'hiver, surtout quand l'étang est recouvert de glace, ainsi que durant les périodes de renversement du printemps et de l'automne, que la qualité de l'effluent d'un bassin de lagunage était la plus mauvaise (EPA, 1983). C'est la vidange durant l'été ou au début de l'automne et en particulier durant les périodes qui coïncident avec un bas niveau d'algues dans l'étang, qui donne l'effluent de la plus haute qualité pour ce qui est de la DBO₅, du TSS, et de l'ammoniac. Dans bon nombre de cas, les périodes de vidange permises sont précisées dans le permis d'exploitation et elles peuvent coïncider avec les saisons de fort débit dans le cours d'eau récepteur (au printemps et à l'automne). Dans ce cas, il se peut que les possibilités de modifier la période de vidange soient limitées, bien que la mise en œuvre d'un plan de vidange qui est proportionnel au débit dans le cours d'eau récepteur puisse

souvent prolonger la période sans qu'il y ait des répercussions nocives sur la qualité des eaux réceptrices.

Le fonctionnement en série des étangs produit un effluent de meilleure qualité que le fonctionnement en parallèle, mais il faut à tout prix prendre soin de ne pas surcharger organiquement le premier bassin de la série. Quand le fonctionnement en série n'est pas possible en raison de la configuration du système de lagunage, l'ajout de chicanes à un étang existant pour favoriser l'écoulement piston à travers l'étang peut lui aussi être efficace (Prince et coll., 1994).

3.5.3 AJOUT D'AÉRATION

Il est possible d'augmenter la capacité d'un bassin de lagunage à microphytes et d'en améliorer l'efficacité en ajoutant de l'aération mécanique à l'entrée du bassin ou en construisant un bassin aéré en amont pour prétraiter les eaux d'égout brutes. Les aérateurs mécaniques augmentent de façon importante le transfert d'oxygène dans le liquide en comparaison avec la réaération naturelle et la photosynthèse. De plus, ils préviennent la formation de glace en surface par temps froid, ce qui permet de maintenir les conditions aérobies à l'année longue. Comme on l'a dit précédemment, il existe du matériel d'aération à énergie solaire ou éolienne qu'on peut utiliser dans les systèmes de lagunage.

Les étangs aérés peuvent fonctionner à des taux de chargement de DBO_5 , ce qui est un ordre de grandeur plus élevé que celui des bassins de lagunage à microphytes (MOE, 1984). Un bassin aéré bien conçu permettra d'éliminer le gros de la DBO_5 dissoute en amont du bassin à microphytes, ce qui augmentera la capacité du système et permettra d'améliorer l'élimination de l'ammoniac durant les mois d'été.

3.5.4 AJOUT DE PRODUITS CHIMIQUES

Des travaux de recherche effectués en Ontario au cours des années 1970 et presque 30 ans de fonctionnement en grandeur réelle ont montré que l'ajout d'un sel métallique, en particulier l'alun, permettait une déphosphatation efficace de l'effluent d'un bassin de lagunage et pouvait servir à décanter les algues en suspension avant la vidange d'un bassin à vidange saisonnière (Pollutech, 1975). Dans le cas des bassins de lagunage à vidange périodique, le traitement a normalement lieu en lots immédiatement avant le début de la période de vidange. Les essais de floculation peuvent s'avérer utiles lorsqu'il s'agit de choisir le produit chimique optimal et le dosage requis. L'ajout du produit se fait habituellement à partir d'une embarcation motorisée, bien qu'on ait déjà utilisé des systèmes de pompage de recirculation plus perfectionnés et plus coûteux. Dans le cas des bassins de lagunage à vidange continue, la pratique courante consiste à ajouter les produits chimiques dans les eaux d'égout brutes à une station de pompage connexe quand il en existe une ou dans la fosse de répartition de l'influent (Graham et Hunsinger, 1977). Dans cette situation, l'accumulation de boues à l'endroit où les eaux d'égout brutes pénètrent dans le bassin de lagunage peut être importante et il se peut qu'on doive enlever les boues plus souvent. Dans les systèmes à bassins multiples, l'ajout de produits chimiques

peut se faire à l'entrée du dernier bassin. Cette façon de procéder permet de réduire l'utilisation de produits chimiques et la production de boues.

3.5.5 PRÉTRAITEMENT DESTINÉ À RÉDUIRE LE CHARGEMENT DES BASSINS DE LAGUNAGE

La mise en place de certains équipements, tels que des tamis fins ou des clarificateurs placés en amont des bassins de lagunage, peut réduire le chargement des bassins et en augmenter la capacité ou en améliorer l'efficacité. Il faut envisager de gérer les matières solides enlevées par ces équipements, en particulier aux emplacements éloignés qui sont en grande partie laissés sans surveillance. Le dégrillage des eaux d'égout brutes peut lui aussi enlever les matériaux flottants qui peuvent constituer une nuisance dans les bassins de lagunage et qui peuvent être vidangés avec l'effluent quand l'ouvrage de vidange n'est pas bien conçu.

3.5.6 POST-TRAITEMENT DESTINÉ À AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'EFFLUENT

L'amélioration substantielle de la qualité de l'effluent des systèmes de lagunage, surtout en ce qui a trait aux concentrations d'ammoniac, de phosphore ou de TSS dans l'effluent, requiert parfois l'ajout de procédés de post-traitement servant à clarifier l'effluent des bassins.

On peut clarifier l'effluent pour enlever les matières solides en suspension liées aux fleurs d'eau ou amener la déphosphatation à un niveau substantiellement inférieur à 1 mg/L en utilisant n'importe lequel des procédés classiques de séparation solide-liquide, notamment les microtamis, la filtration rapide traditionnelle sur sable ou sur filtre multicouche, la coagulation-clarification ou la flottation à l'air dissous (EPA, 1983). Il a également été démontré que les zones humides naturelles éliminaient efficacement la DBO₅ et les matières solides en suspension (Longmuir et Langcake, 2000), mais qu'elles étaient moins efficaces pour ce qui est de la déphosphatation ou de l'élimination de l'ammoniac dans les régions froides.

D'après une étude menée pour le compte du MEO (R.V. Anderson Associates et XCG, 1992), la filtration sur sable intermittente représente la meilleure technique disponible d'amélioration de l'effluent des bassins de lagunage en ce qui a trait à l'élimination de l'ammoniac dans le but de produire un effluent non toxique. Un certain nombre de ces systèmes sont en exploitation en Ontario, mais celle-ci se limite généralement aux mois chauds, ce qui requiert un important volume de stockage durant l'hiver. On utilise ordinairement les filtres à gravier intermittents environ de Août à novembre dans le sud de l'Ontario pour éviter que le liquide ne gèle sur la surface du filtre.

On peut améliorer la désinfection au-delà de celle accomplie par les moyens naturels, à l'aide de n'importe lequel des procédés de désinfection classiques, bien que la présence de concentrations élevées d'algues puisse réduire l'efficacité de l'irradiation aux ultraviolets (Prince et coll., 1994).

3.5.7 MINIMISATION DES ODEURS

Dans un système de lagunage, les odeurs sont généralement causées par les charges excessives, les longues périodes de temps nuageux qui réduisent l'alimentation en oxygène provenant de la photosynthèse, les couverts de glace et le court-circuitage. Certains moyens peu coûteux servant à améliorer les modèles de circulation dans les bassins de lagunage ont été décrits à l'article 3.5.1. Quand les odeurs sont dues à d'autres facteurs, on peut exécuter les étapes suivantes :

- Mettre en place de l'aération mécanique (aérateurs de surface, systèmes d'aération par diffusion d'air) dans le premier bassin pour augmenter le transfert d'oxygène;
- Quand les boues accumulées contribuent à la production d'odeurs, enlever les boues du bassin de lagunage;
- Quand des tapis flottants de boues, d'algues ou de végétation sont visibles, enlever les tapis ou les briser avec une embarcation motorisée et les laisser s'enfoncer dans la couche de boues;
- Passer au fonctionnement en parallèle pour répartir la charge organique sur un volume supplémentaire de bassin de lagunage;
- Recirculer dans le bassin sujet à être surchargé l'effluent de bassin de lagunage qui contient une concentration élevée d'oxygène dissous;
- Ajouter un produit chimique, tel que du nitrate de sodium ou du peroxyde d'hydrogène, comme source d'oxygène pour augmenter l'OD;
- Quand la charge élevée est créée par des rejets industriels, mettre en œuvre un programme de contrôle de l'utilisation des égouts pour minimiser le chargement (se référer à la règle de l'art d'InfraGuide « Contrôles à la source des eaux usées »); et
- Mettre en place des aérateurs à énergie éolienne ou solaire pour augmenter l'alimentation en oxygène et prévenir les périodes prolongées pendant lesquelles le bassin est recouvert de glace ou de neige.

3.6 OPTIMISATION VISANT À RÉDUIRE LES COÛTS

- Bien que les systèmes de lagunage constituent le procédé d'épuration dont les coûts d'immobilisations et d'exploitation connexes sont les plus bas, il existe certaines occasions de réduire les coûts liés à la consommation d'énergie ou à l'utilisation de produits chimiques, notamment :
- La commande automatique de marche ou d'arrêt du matériel d'aération mécanique en fonction de la lecture des capteurs d'oxygène dissous, pour empêcher toute aération inutile durant les périodes où la concentration d'OD est élevée;
- Mise en marche par minuterie du matériel d'aération mécanique en fonction des modèles de chargement diurne et de concentrations en oxygène dissous dans le bassin de lagunage;
- Essais de floculation visant à déterminer le dosage optimal de produits chimiques permettant d'atteindre le niveau requis de déphosphatation (alun ou produit chimique semblable) ou de désinfection (chlore);

- Le proportionnement des taux d'alimentation en produits chimiques au débit pour prévenir tout surdosage durant les périodes de faible débit ou d'absence de débit; et
- L'analyse sur place des paramètres de contrôle de procédé, tels que l'orthophosphore, les matières solides en suspension, l'ammoniac et le chlore résiduel, pour réduire les coûts des laboratoires sous contrat.

3.7 NOUVELLES TENDANCES ET BESOINS TECHNOLOGIQUES

Le besoin de gérer la concentration d'ammoniac dans l'effluent d'une STEP municipale pour s'assurer que l'eau évacuée est non toxique impose un fardeau supplémentaire au système de lagunage. Bien qu'il soit possible d'éliminer jusqu'à 80 p. 100 de l'ammoniac dans les bassins de lagunage durant les mois d'été, il est impossible de maintenir ce taux en hiver (EPA, 2002). Le maintien d'un niveau uniformément élevé d'élimination de l'ammoniac à l'année longue a souvent exigé un post-traitement à l'aide de filtres à sable intermittents ou la conversion de l'installation de lagunage en une station d'épuration mécanique. Il a été démontré que la mise en place dans les systèmes d'épuration biologique de milieux destinés à faire augmenter l'inventaire de biomasse et à rentabiliser la nitrification était efficace dans les STEP par les boues activées et autres stations semblables. Cette approche peut également s'appliquer au système de lagunage, mais cette possibilité doit être démontrée à grande échelle dans les conditions climatiques qui prévalent au Canada.

Certains exploitants ont mentionné avoir utilisé avec succès des enzymes pour réduire les odeurs et le volume des boues dans les installations de lagunage. Il y a lieu d'approfondir la recherche et de poursuivre la surveillance de cas d'utilisation pleine échelle pour justifier l'utilisation d'additifs déterminés (des enzymes, par exemple) en rapport avec certaines conditions d'exploitation ou caractéristiques des eaux usées.

L'utilisation du chlore comme désinfectant est interdite dans certaines provinces et la nouvelle réglementation la décourage partout au Canada. Quand on doit procéder à de la désinfection à des sites précis, on doit étudier la possibilité de recourir à d'autres solutions, telles que le rayonnement ultraviolet.

4. CAS D'UTILISATION ET LIMITATIONS

4.1 CAS D'UTILISATION

Les systèmes d'épuration par lagunage sont très répandus au Canada, en particulier dans les petites agglomérations où le terrain est facilement à trouver et coûte relativement peu cher. Ils sont économiques à construire et à exploiter. Cependant, à mesure que la collectivité croît et qu'une réglementation environnementale plus stricte s'applique aux rejets d'effluents épurés, de nombreux propriétaires de systèmes de lagunage doivent envisager de moderniser et d'agrandir leur système. La conversion en station d'épuration entièrement mécanique peut exiger une dépense d'immobilisations substantielle et entraîner une importante augmentation des coûts d'exploitation par rapport au système de lagunage que la station remplacerait. La présente règle de l'art propose des façons rentables d'améliorer l'efficacité des systèmes de lagunage et de réduire les coûts d'exploitation connexes.

4.2 LIMITATIONS

La présente règle de l'art traite surtout des STEP par lagunage, mais il y est très peu question des bassins de lagunage anaérobies, puisque ceux-ci ne sont pas couramment utilisés dans l'épuration des eaux usées municipales.

Parce que les systèmes de lagunage fonctionnent généralement avec un personnel limité en raison de besoins opérationnels relativement faibles, la sécurité autour des bassins constitue une préoccupation particulière. On doit toujours pouvoir compter sur un nombre suffisant d'employés qualifiés munis de l'équipement de sécurité approprié chaque fois qu'on doit exécuter des travaux dangereux. En hiver, lorsque les talus peuvent être recouverts de glace ou de neige, le conducteur d'installation ne doit pas travailler seul, même pour accomplir des tâches simples, telles que l'échantillonnage. La présente règle de l'art n'a pas pour but d'offrir des conseils en matière de santé et de sécurité durant l'exploitation d'un bassin de lagunage. On doit consulter les manuels d'exploitation et les autres documents de formation pour trouver des renseignements plus détaillés sur la question.

L'intégrité et la fuite des talus doivent être évaluées périodiquement par un professionnel qualifié, ce qui permet d'éviter toute défaillance. La question n'est pas abordée dans la présente règle de l'art.

La présente règle de l'art ne vise pas à remplacer le manuel d'exploitation qui doit être accessible à la STEP.

5. ÉVALUATION

Un système de lagunage bien conçu et bien exploité peut produire un effluent épuré de qualité comparable à celle de l'effluent produit par une station d'épuration secondaire mécanique, mais à meilleur coût quand il est possible de trouver du terrain à bon prix. Un effluent de grande qualité qui a un impact minimal sur les eaux réceptrices et un système de lagunage qui ne produit aucune odeur désagréable et qui n'a aucun impact sur l'environnement indiquent que le but visé par la règle de l'art a été atteint.

BIBLIOGRAPHIE

Alberta Environmental Protection, « Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems, » décembre 1997

American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) and the Water Environment Federation (WEF), 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Canada, Environnement Canada, 1999. Base de données sur l'utilisation de l'eau par les municipalités.

Feachem, R.G., D.J. Bradley, H. Garelick et D.D. Mara, 1983. *Sanitation and Disease*. Toronto, J.Wiley & Sons.

Graham, H.J. et R.B. Hunsinger, 1977. « Phosphorus Reduction from Continuous Overflow Lagoons by Addition of Coagulants to Influent Sewage. » Rapport de recherche n° 65, ministère de l'Environnement de l'Ontario.

Grant, D.M. et B.D. Dawson, 1995. *Isco Open Channel Flow Measurement*. Fourth Edition.

Heinke, G.W. et D.W. Smith, 1988. *Guidelines for the Planning, Design, Operation and Maintenance of Wastewater Lagoon Systems in the Northwest Territories; Volume II – Operations and Maintenance*. Préparées pour le ministère des Affaires municipales et communautaires du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.

Heinke, G.W., D.W. Smith et G.R. Finch, 1988. *Guidelines for the Planning, Design, Operation and Maintenance of Wastewater Lagoon Systems in the Northwest Territories; Volume I – Planning and Design*. Préparées pour le ministère des Affaires municipales et communautaires du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.

Longmuir, S. et C. Langcake, 2000. « Engineered Reed Beds – An Effective Polishing Method for Wastewater. » 63rd Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Warrnamboul, les 6 et 7 septembre 2000.

Malan, W.M., 2003. *A Guide to the Use of Septic Tank Systems in South Africa*. CSIR Report No. 219, Pretoria, National Institute for Water Research.

Morin, G., 2003. Communication personnelle, 2003.

Ontario, MEO (ministère de l'Environnement), 1984. *Guidelines for the Design of Sewage Treatment Works*.

MAAO (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario), 2003. *Nutrient Management Protocols*.

Pollutech Pollution Advisory Services Ltd., 1975. *Nutrient Control in Sewage Lagoons*. Volumes I et II.

Prince, D.S., D.W. Smith et S.J. Stanley, 1994. « Evaluation of Lagoon Treatment in Alberta. » Environmental Engineering Technical Report 94-1, Department of Civil Engineering, University of Alberta.

R.V. Anderson Associates Limited et XCG Consultants Ltd., 1992. *Alternative Approaches for Upgrading Effluent Quality for Lagoon Based Systems*. Préparé pour le MdE et Environnement Canada.

Smith, D.W. et G.R. Finch, 1985. *A Critical Evaluation of the Operation and Performance of Lagoons in Cold Climate*. Environmental Engineering Technical Report 85-2, Department of Civil Engineering, University of Alberta.

United States, EPA (Environmental Protection Agency), 1977. *Operations Manual Stabilization Pond*. EPA-430/9-77-012.

———, 1983. *Design Manual – Municipal Wastewater Stabilization Ponds*, EPA-625/1-83-015.

———, 2002. « Wastewater Technology Fact Sheet – Facultative Lagoons. » EPA 832-F.02-014.

WEF, AWWA et APHA, 1998. « *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater* », 20^e édition.
