

GESTION DES MATIÈRES SOLIDES DESTINÉE À OPTIMISER LES STATIONS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES

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

National Guide
to Sustainable
Municipal
Infrastructure



Guide national pour
des infrastructures
municipales
durables

Canada

NRC - CNRC



*Gestion des matières solides destinée à optimiser les stations d'épuration
des eaux usées*

Publication n° 1.0

Date de publication : avril 2004

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

N° ISBN 1-897094-61-2

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	vi
Résumé	vii
1. Généralités	1
1.1 Introduction	1
1.2 Objet et portée	1
1.3 Mode d'utilisation du document	1
1.4 Glossaire	1
2. Justification	3
2.1 Contexte	3
2.2 Avantages escomptés d'une meilleure gestion des matières solides	3
2.3 Risques	4
3. Description du travail	5
3.1 Analyse de la comptabilisation des boues	5
3.2 Bilans massiques de matières solides	9
3.2.1 Bilan massique des matières solides dans le clarificateur primaire	9
3.2.2 Bilan massique des matières solides dans le cas du traitement secondaire	11
3.2.3 Données nécessaires	14
3.3 Façons d'aborder la gestion des matières solides	14
3.3.1 Clarificateurs primaires	15
3.3.2 Traitement biologique	17
3.3.3 Clarificateurs secondaires	21
3.3.4 Digesteurs	23
3.3.5 Fermenteurs	24
4. Cas d'utilisation et limitations	25
4.1 Cas d'utilisation	25
4.2 Ressources	25
4.3 Limitations	25
5. Évaluation	26
Annexe A - Exemple de calcul de bilan massique	32
Annexe B - Exemple de calcul de moyenne mobile	33
Bibliographie	34

TABLEAUX

Tableau 3-1 : Taux types de production de boues	6
Tableau 3-2 : Exemple d'analyse de comptabilisation des boues	8

Tableau 3-3 : Valeurs servant à prévoir la production de boues dans les procédés de traitement biologique à biomasse en suspension.....	12
Tableau 3-4 : Valeurs de TRS types.....	18
Tableau 3-5 : Rapports EN/b types	19

FIGURES

Figure 3-1 : Bilan massique des matières solides relatives à un clarificateur primaire.....	10
Figure 3-2 : Bilan massique des matières solides relatives à un clarificateur primaire avec flux de recirculation	11
Figure 3-3 : Bilan massique des matières solides relatives à une station avec système d'aération prolongée	12
Figure 3-4 : Chemin de la fermentation des boues primaires.....	18

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.

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 du programme de gestion des biosolides 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 ERES Consultants, une division de Applied Research Associates Inc.

J 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 remercier les personnes qui suivent pour leur participation aux groupes de travail et aux révisions par les pairs.

Peter Seto	L'Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, Burlington (Ontario)
Mark Rupke	Ville de Toronto (Ontario)
Susheel K. Arora	Municipalité du Comté de Colchester (Nouvelle-Écosse)
Graeme Faris	District régional de Comox-Strathcona (Colombie-Britannique)
André Marsan	Centre d'épuration Rive-Sud de Longueuil (Québec)
Gaétan Morin	Roche Ltée, Groupe-Conseil (Québec)
Vince Corkery	Ville d'Edmonton (Alberta)
Howard Brown	SNC-Lavalin, Montréal (Québec)
David Chapman	CPO Inc., Burlington (Ontario)
Gilles Marchi	SNC-Lavalin, Montréal (Québec)
Gary Nieminen	Ville de Regina (Saskatchewan)
Jan Oleskiewicz	Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba)
Barry Rabinowitz	CH2M HILL Canada Ltd., Burnaby (Colombie-Britannique)

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, Regina (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)
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. (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)

RÉSUMÉ

La gestion efficace et adéquate des matières solides relatives à chaque procédé d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) est la meilleure technique à laquelle le personnel d'exploitation puisse avoir recours pour gérer le procédé. La gestion des matières solides a des répercussions directes sur l'efficacité de la station d'épuration, la capacité du procédé et les coûts d'exploitation du système. C'est la première étape essentielle de l'optimisation du fonctionnement d'une STEP.

Malgré son importance et l'accent mis sur le processus dans les manuels et les guides d'exploitation et de procédures, il reste que la gestion des matières solides qu'on retrouve dans une STEP ou dans le cadre du procédé unitaire qui constitue la station n'est pas toujours adéquat. La présente règle de l'art procure au personnel d'exploitation d'une STEP les renseignements de base dont ils ont besoin pour analyser la comptabilisation des boues et établir le bilan massique des matières solides pour chaque procédé en usage dans la station. Une règle de l'art générale, intitulée *Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées*, a déjà été publiée par la direction du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art*.

La gestion efficace des matières solides qu'on retrouve dans une STEP permet :

- d'augmenter la capacité de chaque procédé distinct;
- de réaliser la nitrification sans avoir à accroître la capacité de traitement biologique;
- de réduire la consommation d'énergie et les coûts associés à l'aération durant le procédé biologique;
- de réduire les coûts de gestion des biosolides en diminuant la quantité de matières solides à traiter;
- d'améliorer les caractéristiques de décantation de la biomasse;
- de faciliter les opérations de la station et d'en augmenter la stabilité,
- d'améliorer de façon générale la qualité de l'effluent.

L'analyse de la comptabilisation des boues consiste à comparer la quantité de matières solides qui quitte la STEP sous forme de biosolides contenus dans l'effluent ou par d'autres voies (incinération, enfouissement, etc.) au volume théorique de matières solides qui aurait dû être produit par la station. L'analyse permet alors de confirmer les données d'exploitation et d'efficacité, d'évaluer la précision des procédés d'échantillonnage et des débitmètres de la station, en plus de contrôler la qualité des méthodes d'analyse en laboratoire. La présente règle de l'art illustre la méthode utilisée pour analyser la comptabilisation des boues dans le cas d'une installation hypothétique. Quand l'exercice révèle un écart important, il faut alors examiner les données sur l'efficacité de la station et vérifier la précision des débitmètres ou recourir à d'autres mesures avant

d'entreprendre des démarches dans le but d'optimiser le fonctionnement de la station.

La présente règle de l'art décrit, étape par étape, la marche à suivre pour établir le bilan massique des matières solides dans le cas des procédés simples et conservatifs, tels que les clarificateurs (ou décanteurs) primaires, et dans celui des procédés plus complexes et non conservatifs, tels que les systèmes de traitement biologique. On y décrit en outre les méthodes servant à gérer efficacement la quantité de matières solides relative à plusieurs procédés, notamment les clarificateurs primaires, les procédés de traitement biologique, les clarificateurs secondaires, les digesteurs de boues et les épaisseurs.

Pour tirer parti des avantages associés à l'optimisation d'une STEP, il faut utiliser le mécanisme de gestion des matières solides le mieux adapté à la configuration, à la taille et au type d'installation exploitée.

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 INTRODUCTION

La présente règle de l'art résume les éléments clés de la gestion des matières solides dans une station d'épuration des eaux usées (STEP). On y présente les méthodes qui permettent d'effectuer une gestion adéquate en rapport avec toute une gamme de procédés, en plus des approches servant à déterminer si la gestion des matières solides est satisfaisante. La gestion efficace est la première étape essentielle de l'optimisation de la capacité et de l'efficacité d'une station d'épuration. Le document décrit une des étapes de l'optimisation d'une STEP, dont un aperçu a été publié par la direction du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art*, dans le document intitulé *Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées*.

1.2 OBJET ET PORTÉE

La présente règle de l'art contient à l'intention des exploitants de stations d'épuration mécaniques de toutes sortes et de toutes tailles de l'information sur les approches à utiliser pour gérer les matières solides efficacement. Elle s'applique à la gestion des matières solides relative à divers procédés (p. ex. les réacteurs biologiques ou bioréacteurs, les clarificateurs et les digesteurs) en usage dans les stations d'épuration.

La gestion des matières solides est l'un des paramètres de la régulation de procédés les plus importants qui ont de grandes répercussions sur l'efficacité et l'efficience de la station, sa capacité et les coûts d'exploitation connexes. La gestion précise des matières solides permet d'assurer un contrôle exact des paramètres opérationnels clés tels que le rapport éléments nutritifs-biomasse (EN/b), le temps de rétention des matières solides (TRS), l'âge des boues, le niveau du lit de boues dans les clarificateurs, les charges de matières solides et les autres paramètres. En règle générale, lorsque les matières solides sont bien gérées durant le procédé, la station d'épuration fonctionne de façon stable et efficace.

1.3 MODE D'UTILISATION DU DOCUMENT

La présente règle de l'art procure au personnel d'exploitation d'une STEP les renseignements de base dont ils ont besoin pour établir le bilan massique des matières solides relatif à chaque procédé utilisé dans la station et comptabiliser les boues. Les avantages pouvant découler de la gestion adéquate de ces matières sont décrits à la section 2.

Le concept de l'analyse de la comptabilisation des boues est exposé à la section 3.1. Les méthodes servant à établir le bilan massique des matières solides sont présentées à la section 3.2, depuis les procédés simples dans lesquels il n'y a ni création ni destruction de matières solides (procédés conservatifs) jusqu'aux procédés plus complexes dans lesquels il y a création ou destruction de matières solides (procédés non conservatifs).

La section 3.3 contient la description de certaines méthodes qui peuvent servir dans le cadre de divers procédés courants à gérer les matières solides efficacement et à obtenir certains des avantages mentionnés à la section 2.

1.4 GLOSSAIRE

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

Bioréacteur — Composante de la STEP dans laquelle se produisent les réactions biologiques, entre autres l'oxydation de la DBO₅, la nitrification, la dénitrification et la déphosphatation biologique. Les termes « bioréacteur », « réacteur biologique », « bassin d'aération » et « réservoir d'aération » sont employés de façon interchangeable dans le texte.

Boues activées de retour (BAR)— Partie des boues activées qui se détache de la liqueur mixte dans les décanteurs (ou clarificateurs) secondaires et retourne aux bassins d'aération.

Boues activées excédentaires (BAE)— Excédent de boues activées qui se détache durant le procédé de traitement biologique.

Demande biochimique en oxygène (DBO) — Quantité d'oxygène, exprimée en mg/L, consommée durant l'oxydation biochimique des matières organiques pendant un temps donné (p. ex. DBO à cinq 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.

Matières solides en suspension dans la liqueur mixte (MSLM) — Concentration de matières sèches (mg/L) de la biomasse en suspension dans la liqueur mixte du bassin d'aération de la station d'épuration (boues activées ou aération prolongée).

Matières volatiles en suspension dans la liqueur mixte (MVSLM) — Matières solides de diverses natures en suspension dans un liquide et susceptibles d'être séparées de celui-ci par décantation, filtration ou centrifugation.

Rapport éléments nutritifs-biomasse (EN/b) — Rapport entre la charge massive dans l'affluent (généralement exprimée en kg/j) de la DBO ou de la DCO et la masse de matières volatiles en suspension dans un bassin d'aération servant à épurer les eaux usées. Les unités EN/b s'expriment généralement en d⁻¹.

Temps de rétention des matières solides (TRS) (Âge des boues c)— Mesure de la durée théorique pendant laquelle la particule de matières solides en suspension séjourne en moyenne dans le bioréacteur. Cette durée est généralement exprimée en jours et on l'appelle aussi âge des boues ou temps de séjour moyen dans la cellule.

Total des solides en suspension (TSS)— Matières solides présentes dans un échantillon d'eau, qui sont captées sur le papier filtre à la suite du filtrage de l'échantillon; elles sont exprimées en mg/L.

2. JUSTIFICATION

2.1 CONTEXTE

La Water Pollution Control Federation (WPCF, qui s'appelle maintenant la Water Environment Federation, WEF), affirme dans son *manuel de pratiques* n° 11 intitulé *Operation of Wastewater Treatment Plants* (WPCF, 1990) que la gestion des matières solides dans le système est une technique importante utilisée pour réguler le procédé de traitement par les boues activées. L'évacuation de boues a plus d'incidence sur le procédé que tout autre réglage. L'énoncé pourrait en fait s'appliquer à la quasi-totalité des procédés d'épuration des eaux usées en usage aujourd'hui. L'importance de la gestion des matières solides durant les opérations d'épuration des eaux usées a été mise en relief dans les manuels, les guides d'exploitation et les cours de formation des opérateurs pratiquement depuis qu'on a commencé à épurer les eaux usées pour protéger les cours d'eau contre les effets de l'activité humaine. La gestion des matières solides a des répercussions directes sur l'efficacité de la station, la capacité du procédé et les coûts d'exploitation, et elle constitue donc un volet essentiel de l'optimisation d'une STEP.

Malgré l'importance qu'elle revêt dans une station d'épuration des eaux usées, il arrive souvent que la gestion des matières solides ne soit pas efficace dans les conditions réelles d'exploitation. En 1991–1992, on a mené une enquête visant à déterminer les principaux facteurs qui contribuent à la piètre efficacité des STEP municipales (XCG Consultants Ltd., 1992). Dans le cadre de l'enquête, qui touchait 19 stations en Ontario, on a évalué les répercussions des facteurs d'exploitation, d'administration et de conception sur l'efficacité de l'installation. L'évacuation et l'élimination inadéquates des boues constituent le plus souvent le facteur le plus important qui restreint l'efficacité des stations. Aux États-Unis, on est arrivé aux mêmes conclusions (Gray et coll., 1979; Hegg et coll., 1979, 1980). Les raisons pour lesquelles la gestion des matières solides est inadéquate dans les STEP sont multiples et variées. La mauvaise gestion des matières solides a comme conséquence directe la détérioration de la qualité de l'effluent. Indirectement, il en résulte une diminution de la capacité de la station d'épuration ainsi qu'une augmentation des coûts d'exploitation liés à la gestion de la consommation électrique et des biosolides.

2.2 AVANTAGES ESCOMPTÉS D'UNE MEILLEURE GESTION DES MATIÈRES SOLIDES

La gestion efficace des matières solides dans une STEP contribue à :

- accroître la capacité de chaque procédé distinct;
- réaliser la nitrification sans avoir à accroître la capacité de traitement biologique;

- réduire la consommation d'énergie et les coûts associés à l'aération durant le procédé de traitement biologique;
- réduire les coûts de gestion des biosolides en diminuant la quantité de matières solides à éliminer;
- améliorer les caractéristiques de décantation de la biomasse;
- améliorer la facilité et la stabilité des opérations de traitement;
- améliorer de façon générale la qualité de l'effluent.

2.3 RISQUES

Sans gestion efficace et adéquate des matières solides, l'optimisation de l'efficacité et de la capacité de chacun des procédés unitaires distincts qui constituent la STEP ne peut tout simplement pas se concrétiser. Les procédés de traitement biologique consomment alors trop d'énergie, ce qui fait augmenter les coûts de gestion des biosolides. De plus, la qualité de l'effluent traité de la station d'épuration est compromise.

Malgré l'importance de l'efficacité de la gestion des matières solides pour l'optimisation de l'efficacité et de la capacité de la station d'épuration, d'autres facteurs, tels que la température, les précipitations, le pH, la concentration d'oxygène dissous et les dosages chimiques, ont eux aussi une incidence sur la STEP. La gestion efficace des matières solides ne peut à elle seule garantir l'optimisation de l'efficacité de la station. Tous les facteurs influant sur le déroulement d'un procédé unitaire doivent être pris en compte dans l'élaboration d'un programme d'optimisation détaillé. Une règle de l'art portant sur l'optimisation d'une STEP a été préparée par la direction du *Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art. Pour s'assurer d'optimiser* la capacité et l'efficacité d'une installation, on doit consulter la règle de l'art intitulée *Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées*.

3. DESCRIPTION DU TRAVAIL

La gestion efficace des matières solides dans une STEP ou dans le cadre de tout procédé en usage à la station exige une :

- connaissance de la façon de déterminer les quantités de matières solides qui entrent dans chaque procédé ou dans toute la STEP et qui en sortent;
- compréhension des méthodes pouvant servir à gérer la quantité totale de matières solides ou celle en cause dans un procédé déterminé.

L'analyse de la comptabilisation des boues est une méthode qu'on peut utiliser pour déterminer si les données servant à établir le bilan massique des matières solides dans une STEP, telles que les résultats d'analyse ou les données sur les débits, sont valables et exactes. La méthode peut également servir à déterminer si certains flux dont le débit et la concentration ne sont pas définis ajoutent ou enlèvent des matières solides à un procédé unitaire ou à la station globale. Tel qu'on le décrit dans la règle de l'art du *Guide national* intitulée *Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées*, l'analyse de la comptabilisation des boues est la première étape essentielle de l'optimisation d'une station d'épuration. Les notions élémentaires de la méthode sont décrites dans l'article 3.1 plus loin. Celle-ci consiste essentiellement à établir le bilan massique des matières solides.

La marche à suivre exacte pour établir le bilan massique des matières solides dans le cas des procédés unitaires relativement simples dans lesquels il n'y a ni création ni destruction de matières solides (procédés conservatifs) et dans celui des procédés unitaires plus complexes dans lesquels il y a création ou destruction de matières solides (procédés non conservatifs) est décrite à l'article 3.2. L'établissement du bilan massique des matières solides relatif à un procédé donné et la détermination de la tendance révélée par les conclusions indique au conducteur d'installation si la quantité de matières solides ou la masse des matières dans le procédé augmente ou diminue, ou si le niveau de gestion des matières est stable et constant.

Les différentes façons d'aborder la gestion des matières solides dans le cadre des procédés couramment utilisés dans les STEP sont décrites à l'article 3.3. Dans le cas de bon nombre de procédés, il peut y avoir plusieurs modes de gestion différents. La méthode qui convient le mieux à un procédé donné est fonction de la conception du procédé, de l'équipement de surveillance disponible (p. x. les débitmètres, les points d'échantillonnage, l'équipement de surveillance en continu), du niveau d'expérience du personnel d'exploitation, de l'efficacité requise, de la variabilité des eaux usées et de certains autres facteurs. Le personnel chargé de l'exploitation doit faire l'essai de diverses méthodes et choisir celle qui répond le mieux à ses besoins.

3.1 ANALYSE DE LA COMPTABILISATION DES BOUES

L'analyse de la comptabilisation des boues sert à comparer la quantité de matières solides qui quitte une STEP sous forme de biosolides dans l'effluent et par d'autres voies (incinération, enfouissement, etc.) à la quantité théorique de matières solides qui aurait dû quitter la station.

L'analyse de la comptabilisation des boues doit couvrir une longue période (de plusieurs mois à une année complète) pour éviter que les effets à court terme, tels que l'accumulation de matières solides dans le cadre du procédé ou l'emmagasinement de matières, ne faussent les résultats. On examine les données d'exploitation relatives à la période en cause dans le but de déterminer la masse de matières (kilogrammes ou tonnes sèches de matières solides totales) retirées de la STEP en comparaison de la quantité de matières qui aurait dû être produite d'après les volumes et les concentrations des eaux usées traitées et les procédés unitaires utilisés.

La quantité de matières solides qui, en théorie, doit être produite dans une STEP dépend de la concentration des eaux usées, du type d'usine d'épuration et des procédés utilisés pour stabiliser les biosolides. Les manuels de conception et d'exploitation de la STEP donnent des conseils relativement aux taux types de production de boues. Les modèles de procédés, comme GPS-XTM ou BioWinTM, peuvent servir à produire des estimations plus exactes des taux de production de boues puisque les paramètres de conception et de qualité des eaux usées propres à une station d'épuration donnée peuvent servir à établir ces prévisions. Le tableau 3-1 indique les taux types de production de boues dans le cas des eaux usées domestiques types, pour certains procédés répandus d'épuration des eaux usées.

Tableau 3-1 : Taux types de production de boues.

Procédé d'épuration	Matières solides sèches (g/m ³)	
	BNR ¹ ou sans déphosphatation chimique	Avec déphosphatation chimique
Décantation primaire et procédé classique par boues activées	180	220
Décantation primaire et procédé classique par boues activées avec digestion anaérobie	115	150
Aération prolongée	90	120
Aération prolongée avec bassin à boues aérées	80	110

¹ BNR — Biological Nutrient Removal (élimination biologique des nutriments).

Source : Ontario, MEO (1984).

Les modèles de procédés tels que GPS-X^{MC} et BioWin^{MC} prédisent la production de biosolides à partir de la DCO plutôt que de la DBO₅, puisque l'utilisation de la DCO permet d'établir le bilan massique du processus biologique. Les modèles tiennent aussi compte des particules inertes et dégradables ainsi que des fractions particulaires et solubles de la DCO présente dans les eaux d'égout brutes, de

même que des effets de variables telles que la température et le TSB sur la production de boues. Lorsqu'ils sont étalonnés à l'aide des caractéristiques réels des eaux d'égout brutes en cours d'épuration, les modèles de procédés peuvent donner des estimations plus précises des taux de production de boues que celles fondées sur les valeurs types qu'on trouve dans la documentation. Dans le cas d'une analyse superficielle de la comptabilisation des boues, les taux types de production de boues, tels que ceux indiqués dans le tableau 3-1, sont assez précis. Il faut toutefois signaler que les estimations de taux de production de boues mentionnées dans le tableau 1 supposent que la concentration des eaux usées brutes est typique des eaux d'égout brutes domestiques. Dans le cas où la teneur en DBO₅ ou en matières solides en suspension est plus élevée ou plus faible, on doit utiliser des modèles de procédés plus perfectionnés ou des taux de production de boues établis d'après la concentration des eaux d'égout, tel que l'illustre le tableau 3-3. La façon la plus appropriée d'estimer la production de boues théorique dans une STEP déterminée dépend des caractéristiques des eaux usées, de la conception de la station et des ressources dont dispose le personnel de la station (c.-à-d. la disponibilité de modèles de procédés). On doit choisir la meilleure méthode et l'utiliser régulièrement pour analyser la comptabilisation des boues, et on doit éviter de comparer des résultats obtenus à l'aide de méthodes différentes.

Le tableau 3-2 illustre, dans le cas d'une STEP hypothétique, l'analyse de la comptabilisation des boues faite à l'aide des taux de production de boues indiqués dans le tableau 3-1. Dans l'illustration, la mesure de la production de boues s'établit à 104 p. 100 de la production théorique, d'après les taux de production types. Il est rare que la production réelle de boues corresponde exactement à la production théorique. Un écart inférieur à 15 p. 100 est jugé acceptable; toutefois, un écart supérieur à 15 p. 100 révèle qu'il faut procéder à une évaluation plus poussée afin de déterminer l'origine de la divergence (WEAO, 1996). Parmi les sources fréquentes des écarts constatés dans l'analyse de la comptabilisation des boues, on retrouve :

- les échantillons non représentatifs (précision de l'analyse, techniques d'échantillonnage);
- la mesure inexacte du débit;
- les déversements d'eaux usées à concentration élevée dans la STEP, en provenance de sources industrielles; et
- les hypothèses concernant les accumulations.

Dans le cas où l'écart constaté dans l'évaluation de la quantité de boues n'est pas inférieur à environ 15 p. 100, on doit déterminer les causes de la différence en procédant à un examen exhaustif des sources possibles énumérées plus haut.

L'analyse de la comptabilisation des boues présente maints avantages, en permettant notamment de :

- confirmer les données collectées sur l'efficacité;
- confirmer la précision des débitmètres;
- confirmer la représentativité des méthodes d'échantillonnage; et
- garantir la qualité des méthodes d'analyse.

Les calculs liés à l'analyse de la comptabilisation des boues peuvent aisément être transposés dans un chiffrier électronique, ce qui permet aux conducteurs d'installation d'effectuer l'analyse rapidement et facilement, en indiquant les données relatives au débit et à la concentration. Au moment d'analyser la comptabilisation des boues et de préparer le bilan massique des matières solides en utilisant l'un des exemples présentés à la section 3.2, il importe d'utiliser les mêmes unités de mesure du débit et de la concentration pour tous les intrants et les extrants. Par exemple, tous les débits doivent être exprimés en m^3/j et toutes les concentrations, en mg/L ($10\,000\text{ mg}/\text{L} = 1,0\%$ de MTS).

À partir des calculs effectués à l'aide d'un chiffrier électronique, il est possible de créer des graphes de tendances qui illustrent la masse de matières solides retenue dans les bassins des principaux procédés tels que les clarificateurs et les bioréacteurs. Les graphes de tendances illustrent les modifications de la masse de matières solides au cours du temps (quotidiennement ou hebdomadairement), ce qui permet de s'assurer que chaque procédé est bien géré. La gestion des matières solides a pour objectif de minimiser la variation de la masse des matières dans le cadre du procédé.

Tableau 3–2 Exemple d'analyse de la comptabilisation des boues.

Type de station	Processus classique par boues activées avec déphosphatation chimique et digestion anaérobie
Débit journalier moyen	25 000 m ³ /j
Qualité des eaux brutes	DBO ₅ = 200 mg/L; TSS = 225 mg/L
Qualité de l'effluent final	DBO ₅ = 10 mg/L; TSS = 15 mg/L
Biosolides transportés aux fins d'épandage agricole	43 000 m ³ /an à 3 % (30 kg/m ³) MTS
<p>Calcul de la production de boues :</p> <p>Biosolides épandus sur les sols = $43\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{an}} \times \frac{30 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ tonne}}{10^3 \text{ kg}} = 1\,290 \text{ tonnes/an}$</p> <p>+ matières solides contenues dans l'effluent = $25\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times 365 \frac{\text{j}}{\text{an}} \times 15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{10^9} \frac{\text{tonne}}{\text{mg}} = 137 \text{ tonnes/an}$</p> <p>= Production totale, soit 1 427 tonnes/an</p>	
Quantité théorique de boues à un taux de production de 150 g/m ³ *	$= 25\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times 365 \frac{\text{j}}{\text{an}} \times 150 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{10^6} \frac{\text{tonne}}{\text{g}} = 1\,369 \text{ tonnes/an}$
Quantité calculée/quantité théorique(%)	$= \frac{1427}{1369} \times 100 = 104 \%$
Conclusion	La quantité calculée se situe à l'intérieur de la marge de 85 % à 115 % de la quantité théorique. Confirmation de la bonne évaluation.
* Se reporter au tableau 3–1.	

3.2 BILAN MASSIQUE DES MATIÈRES SOLIDES

Pour assurer l'efficacité de la gestion des matières solides, il est essentiel d'établir le bilan massique des matières pour chaque procédé.

Le bilan massique des matières solides s'exprime tout simplement comme suit :

les matières présentes au début du procédé dans tous les flux d'alimentation
plus

les matières solides issues du procédé
moins

les matières solides détruites durant le procédé
égalent

les matières solides présentes à la fin du procédé dans tous les flux de sortie
plus

les matières solides accumulées durant le procédé.

On suppose que l'accumulation est négligeable dans une station en régime stable, mais dans le cas d'une courte durée (p. ex. jours ou heures), il faut absolument la

prendre en compte. Ainsi, l'accumulation de matières solides dans un clarificateur se traduit par une hausse du niveau du lit de boues.

Le bilan massique est plus facile à calculer dans le cas d'un procédé unitaire dans lequel il n'y a ni création ni destruction de matières (p. ex. dans le clarificateur). Ce genre de procédé est dit « conservatif ». Il est toutefois plus difficile d'établir le bilan massique dans le cas d'un procédé unitaire dans lequel il y a création (p. ex. dans un bioréacteur) ou destruction (p. ex. dans un digesteur) de matières solides, car il faut alors estimer la quantité de matières ainsi créée ou détruite. Ce genre de procédé est dit « non conservatif ».

On trouvera ci-après des exemples qui illustrent le calcul du bilan massique des matières solides dans le cas des procédés unitaires simples ou plus complexes en usage dans les STEP. On trouvera également à l'Annexe A des exemples de calcul du bilan massique relatif à certains procédés unitaires.

Il est possible de combiner les bilans massiques établis pour chacun des procédés utilisés dans une STEP et de produire le bilan massique détaillé de toute l'installation. L'extrait d'un procédé donné devient en effet l'intrant du prochain procédé en aval. Les bilans massiques établis pour plusieurs procédés peuvent servir à estimer l'intrant ou l'extrait d'un procédé conservatif quand on ne dispose d'aucune mesure réelle. Il est par exemple possible d'estimer la quantité de matières solides retournée à un procédé à partir d'un flux de recirculation lorsqu'on ne dispose d'aucunes données réelles; l'estimation peut alors faire ressortir la nécessité de procéder à un échantillonnage ou à une mesure supplémentaire du débit du flux de recirculation.

3.2.1 BILAN MASSIQUE DES MATIÈRES SOLIDES DANS LE CLARIFICATEUR PRIMAIRE

La figure 3–1 présente un diagramme illustrant les paramètres nécessaires à l'établissement du bilan massique des matières solides dans le clarificateur primaire.

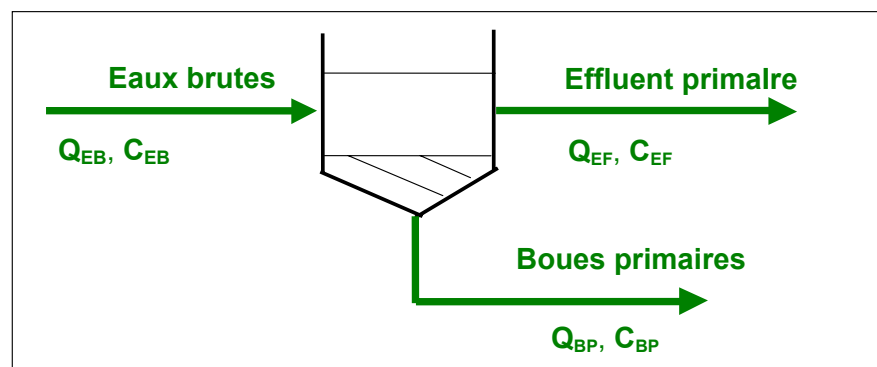


Figure 3–1 : Bilan massique des matières solides dans un clarificateur primaire.

D'après la figure 3-1, on peut exprimer le bilan massique des matières solides dans le clarificateur primaire au moyen de la formule suivante :

Matières entrantes = matières sortantes + matières accumulées

$$Q_{EB} * C_{EB} = (Q_{ef} * C_{ef} + Q * C) + \text{accumulation}$$

où

Q_{EB} = débit d'eaux d'égout brutes

C_{EB} = concentration de matières solides dans les eaux d'égout brutes

Q_{EP} = débit de l'effluent primaire

C_{EP} = concentration de matières solides dans l'effluent primaire

Q_{BP} = débit des boues primaires

C_{BP} = concentration des matières solides totales dans les boues primaires

Tel qu'on l'a déjà mentionné, pour tous les intrants et les extrants, il faut utiliser les mêmes unités de mesure du débit et de concentration. Tous les débits doivent par exemple être exprimés en m^3/j et toutes les concentrations, en mg/L ($10\ 000\ mg/L = 1,0\ \% \text{ de MST}$). Nota. - On utilise aussi l'unité m^3/j .

Quand le lit de boues dans le clarificateur est maintenu à un niveau raisonnablement constant, on peut ne pas tenir compte de l'accumulation. Dans le cas où l'écart entre la quantité de matières solides entrante et la quantité sortante calculées n'est pas inférieur à $\pm 15\ p. 100$, cela peut être dû à une accumulation importante dans le clarificateur ou aux autres sources d'écart décrites à l'article 3.1.

Lorsque le clarificateur primaire reçoit le flux de recirculation provenant d'un procédé, tel que la déshydratation des boues, ou est utilisé pour le co-épaississement des boues activées excédentaires, l'établissement du bilan massique des matières solides devient plus complexe et les sources d'écart sont alors plus nombreuses. La figure 3-2 illustre ce cas plus complexe.

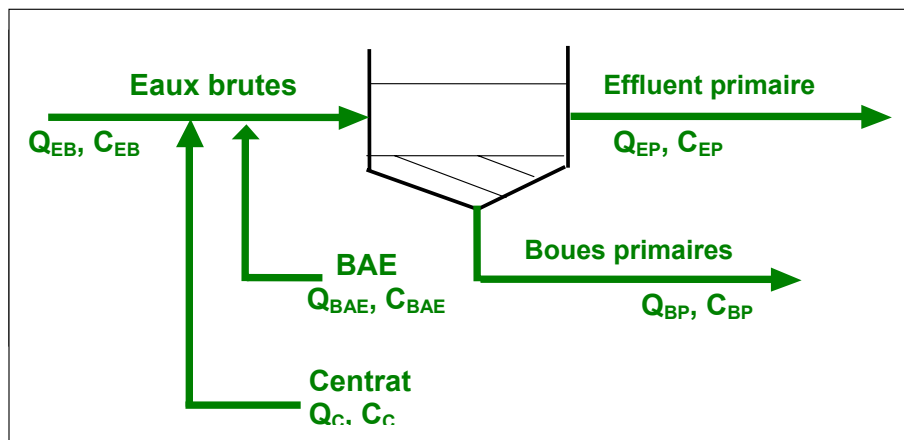


Figure 3-2 : Bilan massique des matières solides relatives à un clarificateur primaire avec flux de recirculation.

L'introduction des flux de recirculation ou des BAE dans le clarificateur primaire rend le calcul du bilan massique un peu plus complexe. Dans ce cas, pour établir le bilan massique et confirmer que les matières solides ont été comptabilisées, il faut mesurer le débit et la concentration de tous les flux. Le bilan massique, qui ne tient pas compte des matières solides accumulées dans le clarificateur, s'exprime au moyen de la formule suivante :

Matières entrantes = Matières sortantes

$$Q_{EB} * C_{EB} + Q_C * C_C + Q_{BAE} * C_{BAE} = Q_{EP} * C_{EP} + Q_{BP} * C_{BP}$$

où les termes supplémentaires non définis précédemment sont :

Q_C = débit du centrat

C_C = concentration des matières solides dans le centrat

Q_{BAE} = débit de boues activées excédentaires (BAE)

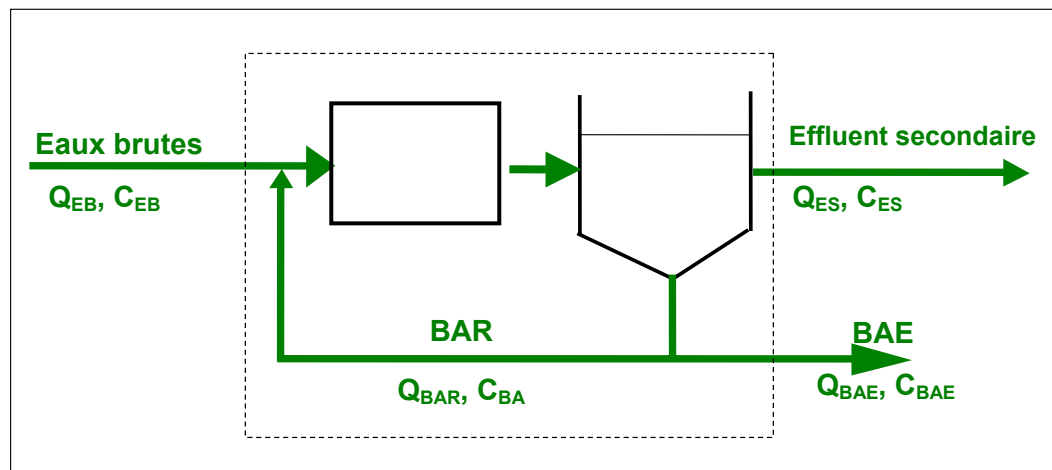
C_{BAE} = concentration des matières solides dans les BAE

Un écart supérieur à ± 15 p. 100 dans le bilan massique reflète souvent des inexactitudes ou un manque de données concernant le flux de recirculation et peut indiquer qu'il y a lieu d'examiner les répercussions du flux sur le procédé. Quand ce ne sont pas les flux de recirculation qui sont à l'origine du piètre bilan massique, il faut évaluer les autres sources d'écart mentionnées à l'article 3.1.

3.2.2 BILAN MASSIQUE DES MATIÈRES SOLIDES DANS LE CAS DU TRAITEMENT SECONDAIRE

Lorsqu'on établit le bilan massique des matières solides ou qu'on comptabilise les boues en rapport avec la composante de traitement secondaire d'une station d'épuration, on considère que le bassin d'aération (ou bioréacteur) et le clarificateur secondaire ne forment qu'un seul et même procédé. Dans le cas du réacteur discontinu (SBR), les deux fonctions ont lieu dans le même bassin, ce qui permet de simplifier le procédé. La figure 3-3 illustre les paramètres clés qui entrent dans le calcul du bilan massique dans le cas d'une station avec système d'aération prolongée (bassin d'aération, en plus du clarificateur secondaire).

Figure 3-3 : Bilan massique des matières solides relatives à une station avec système d'aération prolongée.



Le traitement biologique est un procédé non conservatif, car la biomasse est produite dans le bioréacteur; la production de boues doit par conséquent être estimée. Les valeurs types de production de boues dans le cas des divers types de procédés de traitement sont résumées dans le tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Valeurs servant à prévoir la production de boues dans les procédés de traitement biologique à biomasse en suspension.

Type de procédé	kg de TSS (boues)/kg DBO ₅ éliminé
Boues activées avec clarification primaire	0,7
Boues activées sans clarification primaire	
Procédé classique ^a	0,85
Aération prolongée ^b	0,65
Stabilisation par contact	1,0
Notes : ^a Comprend l'aération décroissante, l'alimentation étagée, l'écoulement piston et le brassage complet avec temps de rétention des eaux usées < 10 heures.	
^b Comprend le fossé d'oxydation.	

Source : U.S. EPA (1989).

Le flux de boues activées de retour (BAR) n'a pas à être pris en compte dans le bilan massique du fait qu'il demeure dans les limites du procédé unitaire. Quand un flux de recirculation externe (p. ex. le liquide surnageant du digesteur) est incorporé aux eaux d'égout brutes, la masse de matières solides qu'il contient doit être prise en considération. Dans ce cas, le bilan massique relatif au procédé illustré dans la figure 3-3 s'exprime au moyen de la formule suivante :

$$(Q_{EB} * C_{EB} * \text{croissance de la biomasse}) = Q_{ES} * C_{ES} + Q_{BAE} * C_{BAE} + \text{accumulation}$$

Il est possible d'estimer la croissance de la biomasse de façon assez précise à partir des valeurs types (tableau 3-3) ou de la prévoir à l'aide de modèles de procédé tels que GPS-X™ ou BioWin™. Le terme de rendement de la biomasse qui est fondé sur la DBO₅, incorpore à la fois les matières solides provenant du TSS dans les eaux d'égout brutes et la croissance de la biomasse.

Si on ajoute au système de traitement secondaire des produits chimiques (alun ou sels de fer) servant à la déphosphatation, il y aura production supplémentaire de boues en raison de la précipitation du phosphore et de l'hydroxyde métallique. On peut estimer la production supplémentaire résultant de l'ajout de produits chimiques à partir des données suivantes (U.S. EPA, 1976):

Al : de 4,52 à 2,89 mg de matières solides en suspension par mg d'Al ajouté.

Fe : de 2,70 à 1,92 mg de matières solides en suspension par mg de Fe ajouté.

3.2.3 DONNÉES NÉCESSAIRES

Comme on peut le constater dans l'exemple précédent, pour analyser la comptabilisation des boues et établir le bilan massique exact des matières solides, il faut d'abord connaître les débits et les concentrations de toutes les matières entrantes ou sortantes, y compris les flux de recirculation. Dans le cas des procédés dans lesquels il peut y avoir accumulation de matières solides (p. ex. dans les bassins d'entreposage des boues), il faut également mesurer l'accumulation et en tenir compte dans le bilan massique.

Un des éléments importants de l'analyse de la comptabilisation des boues et du bilan massique des matières solides, c'est la capacité de cerner les lacunes, telles que l'imprécision des mesures de débit ou l'inexactitude des données d'analyse utilisées. Un bilan massique incomplet ou une mauvaise comptabilisation des boues indique souvent la présence de matières entrantes ou sortantes qui ne sont pas contrôlées.

La mesure des concentrations en matières solides dans les flux liquides ou de boues exige des appareils de laboratoire perfectionnés, tels que des balances d'analyse, des étuves à séchage et du matériel de filtration. En outre, le procédé est vorace en temps. On a utilisé un essai en centrifugeuse comme méthode rapide d'estimation de la quantité de matières solides présente dans un flux de boues pour lequel on pouvait utiliser un moins grand nombre d'appareils d'analyse. En centrifugeant un échantillon à une vitesse et pendant un temps donnés, on obtient dans un tube de centrifugeuse gradué un volume de matières solides concentrées qui constitue une indication de la masse de matières solides présente dans l'échantillon et peut servir à mesurer la quantité de matières. Certains conducteurs d'installation utilisent pour gérer les matières solides et établir le bilan massique des unités de mesure des boues selon lesquelles l'unité est le volume de boues en pourcentage du volume du tube de centrifugeuse, multiplié par le volume du réacteur. On peut trouver plus de précisions au sujet de ce concept dans West (1975). Il est toujours avantageux d'effectuer à l'occasion des analyses en laboratoire des MST ou du TSS pour confirmer les résultats de l'essai en centrifugeuse.

3.3 FAÇONS D'ABORDER LA GESTION DES MATIÈRES SOLIDES

Pour gérer les matières solides, il faut, entre autres, déterminer la quantité optimale de matières qu'on doit retrouver dans un procédé (c.-à-d. la liqueur mixte dans un réacteur ou le niveau du lit de boues dans un clarificateur) et qui permet d'obtenir le niveau d'efficacité le plus stable et le plus fiable possible, avant de mettre en œuvre une stratégie de gestion visant à maintenir la quantité de matières solides au niveau optimal.

Le niveau optimal des matières solides relativement à un procédé donné est fonction d'un certain nombre de facteurs, notamment :

- la conception du procédé;
- les caractéristiques des eaux usées;

- la variabilité du débit d'alimentation du procédé, et
- les critères d'efficacité.

On peut trouver dans les manuels d'exploitation et les guides de conception des conseils au sujet de la quantité optimale de matières solides; toutefois, pour établir le point de fonctionnement optimal dans le cas d'un procédé particulier, le personnel d'exploitation de l'installation doit déterminer expérimentalement le point auquel le fonctionnement du procédé est le plus stable.

Dans les paragraphes qui suivent, on décrit les approches qui permettent de bien gérer les matières solides dans le cas de divers procédés unitaires. Toutes les approches ont été utilisées avec succès et le choix de celle qui convient le mieux à une STEP particulière ou à un procédé unitaire déterminé doit se faire en fonction des critères suivants :

- la conception du procédé;
- la quantité d'instruments et d'appareils de contrôle disponibles;
- les ressources d'exploitation et de laboratoire (matériel et personnel); et
- les connaissances et l'expérience du personnel d'exploitation.

3.3.1 CLARIFICATEURS PRIMAIRES

Les clarificateurs primaires séparent des eaux usées brutes les matières solides qu'il est possible de faire décanter ou flotter facilement. Ces bassins peuvent aussi servir à équilibrer les eaux secondaires (le liquide surnageant du digesteur ou le filtrat de la déshydratation, par exemple) et à éliminer la DBO associée aux matières décantables. Le procédé permet généralement d'éliminer de 40 à 50 p. 100 des matières solides en suspension dans l'affluent et de 30 à 40 p. 100 de la DBO. Dans bon nombre de stations d'épuration, on utilise en outre des décanteurs primaires pour la co-décantation et l'épaississement des boues activées excédentaires (WEF, 1996).

On peut ajouter un produit chimique pour faciliter la décantation des matières solides ou éliminer les sels nutritifs, tels que le phosphore. Si on ajoute un sel métallique (alun, chlorure de fer, etc.), il en résultera un accroissement de la production de boues, tel qu'on le mentionne à l'article 3.2.2. L'ajout d'un polymère améliore l'élimination des matières solides à cause de la floculation, mais n'entraîne aucune production supplémentaire de matières.

La gestion inappropriée des matières solides dans les clarificateurs primaires nuit au bon fonctionnement des procédés en aval, ce qui cause :

- un transfert de matières solides du clarificateur primaire vers les bioréacteurs en aval;
- la solubilisation des matières organiques contenues dans les boues et l'augmentation de la charge en DBO des procédés secondaires;
- le pompage des boues diluées et la surcharge hydraulique des procédés de gestion des boues, et

- l'augmentation des taux de pompage des boues, ce qui fait augmenter le coût du chauffage des boues avant la digestion anaérobie.

Dans le cas des clarificateurs primaires, les deux principales activités de manutention des solides sont la collecte et l'évacuation. La collecte consiste à amener les solides décantés à un endroit dans le bassin de décantation où ils sont évacués. Le fonctionnement du collecteur en mode continu facilite l'exploitation d'un système d'enlèvement automatique des boues; il se peut toutefois que le collecteur doive fonctionner en mode intermittent quand les bassins primaires sont utilisés pour épaissir les boues activées excédentaires (BAE) provenant du procédé secondaire ou que les boues primaires sont pompées directement vers les cellules de digestion ou de déshydratation (WEF, 1996).

Le taux d'évacuation des boues provenant du clarificateur influe sur la concentration des boues transférées vers les procédés en aval. En général, les boues primaires sont composées de 3,5 à 8 p. 100 de matières solides lorsqu'il n'y a aucun ajout de BAE à des fins de co-épaississement et de 2 à 7 p. 100 de matières solides lorsqu'il y a épaississement des BAE (MEO, 1984). La gestion des matières solides permet au conducteur d'installation d'optimiser la concentration des boues décantées. Il existe deux façons répandues d'aborder la gestion des matières solides dans les clarificateurs primaires :

- la gestion des matières solides totales (MST);
- la gestion du niveau du lit de boues.

Les deux approches peuvent être utilisées individuellement ou ensemble. La méthode de gestion la plus appropriée est fonction de divers facteurs, tels que les répercussions de la concentration des boues sur les procédés de gestion aval et les effets d'un niveau élevé du lit de boues sur les procédés d'épuration des liquides en aval. Quelle que soit la méthode de gestion des matières solides utilisée dans le cadre du procédé de clarification primaire, Albertson et Walz (1999) recommandent que le temps de séjour de la boue dans le clarificateur ne dépasse pas 6 à 12 heures. Pour déterminer le temps de séjour, on divise la masse totale de boues présente dans le clarificateur par la masse évacuée par pompage. Pour calculer le temps de séjour de la boue, il faut absolument surveiller la masse totale de boues présente dans le clarificateur, de même que la masse qui entre dans le bassin et celle qui en sort.

Gestion des matières solides totales (MST)

Cette stratégie de gestion des matières solides demande qu'on détermine la plage optimale de concentrations en matières solides totales pour les boues primaires évacuées du clarificateur primaire ainsi que les taux d'évacuation des boues (fréquences et durées du pompage) afin de maintenir les boues dans les limites de la plage optimale de concentrations.

On peut gérer les MST manuellement en prélevant des échantillons de boue aux moments appropriés durant le cycle de pompage et en mesurant la concentration en MST. On peut prélever des échantillons à divers moments durant le cycle de pompage afin de déterminer le meilleur moment auquel procéder à l'échantillonnage dans le but d'obtenir des résultats représentatifs. Quand les

boues sont trop diluées au début du cycle de pompage, il faut réduire la fréquence du pompage pour permettre aux boues de se densifier et d'épaissir, avant d'amorcer le cycle de pompage suivant. Quand les boues sont trop diluées à la fin du cycle de pompage, il faut réduire la durée du pompage pour permettre aux boues plus claires de demeurer dans le clarificateur et d'épaissir avant d'être évacuées durant le cycle de pompage suivant.

La gestion des MST peut également se faire au moyen d'un densimètre en ligne qui mesure constamment la teneur en MST des boues pompées. L'interface entre le densimètre et la pompe à boues permet de mettre la pompe en marche ou de l'arrêter lorsque la concentration des boues pompées atteint un niveau déterminé d'avance.

Gestion du niveau du lit de boues

Cette stratégie de gestion des matières solides demande qu'on détermine le niveau optimal du lit de boues dans le clarificateur primaire ainsi que les taux d'évacuation des boues (fréquences et durées du pompage) afin de maintenir le niveau du lit dans la plage optimale. Le conducteur d'installation doit déterminer le niveau qui permet d'obtenir une boue épaisse sans toutefois nuire à l'efficacité de l'évacuation, surcharger le matériel de collecte ou provoquer la décomposition et la résolubilisation des matières organiques au fond du clarificateur.

On peut gérer le niveau du lit de boues manuellement en déterminant périodiquement le niveau du lit dans le clarificateur au moyen d'un échantillonneur de boues ou d'un détecteur portatif du niveau du lit de boues. On peut alors modifier le cycle de pompage pour relever ou abaisser le niveau, au besoin.

La gestion du niveau du lit de boues peut également se faire au moyen d'un détecteur en ligne qui mesure continuellement l'épaisseur du lit. L'interface entre le détecteur de niveau et la pompe à boues permet de mettre la pompe en marche ou de l'arrêter pour maintenir le lit de boues au niveau préétabli.

Gestion combinée des MST et du niveau du lit de boues

La gestion des MST et celle du niveau du lit de boues peuvent se faire simultanément quand on détermine des points de consigne optimaux pour la concentration des boues et l'épaisseur du lit. Les systèmes automatisés, qui comprennent à la fois un densimètre et un détecteur de niveau de lit de boues, facilitent la mise en œuvre d'une stratégie de gestion combinée des boues dans le clarificateur primaire.

3.3.2 TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Le fonctionnement d'un procédé de traitement biologique dépend de micro-organismes vivants. La gestion du nombre et des types de micro-organismes présents dans le bassin d'aération et de leur activité est essentielle à l'optimisation de l'efficacité du procédé. Bien que les conditions de l'affluent et des autres variables opérationnelles, telles que l'oxygène dissous (O.D.), le pH et l'alcalinité, puissent avoir une incidence sur l'activité biologique,

le taux d'évacuation est généralement considéré comme la variable de gestion la plus importante. L'évacuation des boues influe sur la qualité de l'effluent, le taux de croissance et le type de micro-organismes, la consommation d'oxygène, la décantabilité de la liqueur mixte, les besoins en éléments nutritifs et la nitrification. Au moyen de l'évacuation, le conducteur d'installation détermine directement la quantité de boues présente dans le système biologique.

Dans le procédé de traitement biologique, on gère les matières solides en réglant le taux d'évacuation au moyen de l'une ou l'autre des stratégies suivantes :

- gestion du temps de rétention des matières solides (TRS); Temps de séjour (âge des boues)
- gestion du rapport éléments nutritifs-biomasse (EN/b);
- gestion de la concentration des matières en suspension dans la liqueur mixte (MSLM), et
- gestion de la biomasse totale.
- Il convient de noter que les façons d'aborder la gestion mentionnées plus haut et décrites sous les rubriques qui suivent ne s'appliquent pas aux procédés à biomasse fixe, tels que les disques biologiques et les lits bactériens. Dans ces systèmes de traitement biologique, le conducteur d'installation ne peut déterminer activement la quantité de matières solides retirée du système au moyen de l'évacuation; il n'y a donc aucune possibilité de gérer directement le TRS ou le volume de la biomasse présente dans le système. Dans le cas des systèmes hybrides (p. ex. SIBFBA, LBA et LBS¹), les principes décrits ici demeurent valables, car le conducteur d'installation peut gérer activement la biomasse présente dans le système.

Le personnel d'exploitation de l'installation doit se rappeler qu'il faudra peut-être deux ou trois TRS pour que le système biologique se stabilise à la suite d'une modification du procédé. Ainsi, le conducteur d'installation doit attendre suffisamment longtemps pour que le procédé donne les résultats voulus après une modification du taux d'évacuation. De plus, toute modification de ce dernier doit se faire progressivement (p. ex. 10 p. 100 par jour et pas plus de 20 p. 100 par semaine). Dans le cas des paramètres servant aux calculs de régulation des procédés (p. ex. DBO ou DCO de l'affluent secondaire, MSLM, BAR, TSS, rapport EN/b et BAE), on recommande d'utiliser une moyenne mobile calculée sur sept jours pour aplanir les fluctuations importantes qu'on observe souvent dans les mesures journalières (WEF, 1996). On trouvera à l'Annexe B un exemple de calcul de la moyenne mobile s'appliquant au TRS.

On détermine la moyenne mobile sur sept jours en calculant chaque jour le TRS et en prenant la moyenne des valeurs journalières de la période de sept jours la plus récente. Chaque jour qu'on calcule un nouveau TRS, on supprime le TRS de la première journée de la séquence et on calcule une nouvelle moyenne.

Gestion du temps de rétention des matières solides (TRS)

Le temps de rétention des matières solides, qu'on appelle aussi l'âge des boues ou le temps de séjour moyen dans la cellule (TSMC), correspond essentiellement

¹ SIBFBA : système intégré à biomasse fixe et boues activées; LBA : lit bactérien aéré; LBS : lit bactérien immergé

au nombre de jours, en moyenne, pendant lesquels les micro-organismes sont présents durant le procédé de traitement biologique. Le TRS détermine le taux de croissance des micro-organismes, influant ainsi sur la composition de la biomasse dans le procédé. On le calcule au moyen de la formule suivante :

TRS (en jours) = Total de la masse de matières solides dans le bassin d'aération (ou les bioréacteurs)

$$= \frac{\text{Total de la masse de matières solides à la fin du procédé chaque jour}}{(Q_{BAE} \times C_{BAE}) + (Q_{EFF} \times C_{EFF}),}$$

où C_{MSLM} = concentration de matières solides dans les matières solides en suspension dans la liqueur mixte (MSLM)

$V_{AÉRATION}$ = volume du bassin d'aération

Q_{BAE} = débit de boues activées

C_{BAE} = concentration de matières solides dans le flux de BAE

Q_{EFF} = débit de l'effluent du clarificateur

C_{EFF} = concentration de matières solides dans l'effluent du clarificateur.

Tel qu'on l'a déjà dit, on doit utiliser les mêmes unités de mesure du débit et de la concentration pour tous les intrants et les extrants. Tous les débits doivent par exemple être exprimés en m³/j et toutes les concentrations, en mg/L (10 000 mg/L = 1,0 % de MST).

On gère le TRS en le maintenant à un point de consigne optimal déterminé d'avance, en modifiant le taux d'évacuation. Le TRS cible est fonction de la station et il peut changer en fonction des variations du procédé au fil du temps et des effets saisonniers. C'est ainsi que le conducteur d'installation est souvent tenu de choisir un nouveau TRS cible chaque mois ou chaque saison. L'écart entre le TRS réel et le TRS cible doit être de 10 à 20 p. 100 (WEF, 1996). En règle générale, le TRS doit être plus court durant l'été, parce que les réactions dans le système se produisent à un rythme plus rapide lorsque la température est plus élevée. Le tableau 3-4 indique les valeurs types de TRS relatives à divers procédés de traitement biologique.

Tableau 3-4 : Valeurs de TRS types.

Procédé de traitement	TRS (en jours)	
	Sans nitrification	Avec nitrification
Procédé classique par boues activées	4 à 8	(> 4 à 20° C > 10 à 5° C)
Avec aération prolongée	> 15	> 15
À forte charge	4 à 6	Non approprié
Stabilisation par contact ¹	4 à 10	Non approprié

Nota. - ¹ Compte tenu des volumes – contact et ré-aération.

Source : Ontario, MEO (1984).

Gestion du rapport éléments nutritifs-biomasse (EN/b)

Le rapport éléments nutritifs-biomasse (EN/b) est le rapport entre les éléments nutritifs assimilés par les micro-organismes (généralement exprimés sous forme de DBO_5) et la masse de micro-organismes retenue dans le bassin d'aération (généralement exprimée sous forme de MVSLM) (matières volatiles en suspension dans la liqueur mixte). Ce rapport est calculé comme suit :

$$EN/b, d^{-1} = (DBO_5 \text{ de l'affluent, en kg/j}) / (MVSLM, \text{ en kg}).$$

La gestion du rapport EN/b fait en sorte que le procédé biologique se déroule à un rythme qui permet aux micro-organismes présents dans le bioréacteur de consommer la majeure partie des éléments nutritifs (DBO_5) contenus dans les eaux usées à épurer. Les rapports EN/b types pour divers procédés de traitement biologique sont résumés dans le tableau 3-5. Le rapport EN/b optimal est fonction de la station et de la température, et il doit être déterminé par approximations successives. En règle générale, le rapport EN/b dans une installation doit être plus bas durant les mois froids. Un rapport EN/b élevé correspond à un TRS court tandis qu'un rapport EN/b peu élevé correspond à un TRS long.

Tableau 3-5 : Rapports EN/b types.

Procédé de traitement	EN/b (d^{-1})	
	Sans nitrification	Avec nitrification
Procédé classique par boues activées	0,2 à 0,5	0,05 à 0,25
Avec aération prolongée	0,05 à 0,15	0,05 à 0,15
À forte charge	0,3 à 0,5	Non indiqué
Stabilisation par contact ¹	0,2 à 0,5	Non indiqué
Nota 1. Compte tenu des volumes – contact et ré-aération.		

Source : Ontario, MEO (1984).

Pour gérer le rapport EN/b des matières solides en cause dans le système biologique, il faut connaître le volume d'éléments nutritifs qui entre dans le système. Bien que l'on dispose de matériel de mesure en ligne de la DBO_5 , ce matériel est coûteux et nécessite un entretien régulier. Puisqu'il faut compter au moins cinq jours pour mesurer la DBO_5 à l'aide des méthodes en laboratoire traditionnelles, la gestion en fonction de la DBO_5 est peu pratique. Par conséquent, dans le cas des stations dans lesquelles on gère le rapport EN/b, on compte sur des mesures auxiliaires de la DBO_5 , telles que la demande chimique en oxygène (DCO). La relation entre la DBO_5 et la DCO varie selon la station et il faut déterminer celle qui est propre à une installation donnée avant d'utiliser la DCO comme base de la gestion du rapport EN/b.

Gestion des matières solides en suspension dans la liqueur mixte (MSLM)

La gestion des MSLM est une méthode relativement simple qui fait appel à un minimum de travail en laboratoire. Selon la méthode, le conducteur d'installation choisit et maintient dans le bioréacteur la concentration de MSLM qui permet d'obtenir l'effluent de la meilleure qualité possible et maximise l'efficacité de

l'évacuation des boues. Il faut maintenir une quantité suffisante de MSLM en fonction du degré d'épuration qu'on souhaite obtenir. La concentration maximale de MSLM est limitée par l'alimentation en air disponible et la conception des clarificateurs secondaires en aval. Pour déterminer la quantité de MSLM qui permet d'obtenir un effluent de bonne qualité, le conducteur d'installation doit d'abord utiliser le rapport EN/b recommandé avant de faire l'essai de rapports légèrement différents. Il doit conserver chaque rapport pendant quelques semaines, ce qui permettra au système de se stabiliser. Une fois qu'on a déterminé le rapport EN/b qui permet d'obtenir un effluent de bonne qualité et une bonne décantation, la quantité moyenne de MSLM présente durant la période devient la concentration de MSLM cible (WEF, 1996).

Après avoir déterminé la quantité de MSLM cible, on la conserve en réglant le taux d'évacuation des boues. Quand la concentration de MSLM baisse en deçà de la valeur cible, on réduit ou on arrête l'évacuation jusqu'à ce que la concentration remonte au niveau désiré. Par contre, si la concentration de MSLM est supérieure à la valeur cible, on doit intensifier l'évacuation des matières solides en excès. L'augmentation ou la réduction du taux d'évacuation doit se faire progressivement (pas plus de 20 p. 100 par semaine) et il vaut mieux évacuer les boues de manière continue plutôt que par intermittence.

Il importe que les mesures de MSLM soient exactes et que les échantillons prélevés reflètent les conditions générales qui prévalent dans le bioréacteur. On peut avoir recours à cette méthode lorsque les caractéristiques de l'affluent (p. ex. débit, DBO, ATK et TSS) sont passablement constantes. Lorsque celles-ci varient considérablement, cette méthode de gestion peut donner un effluent de mauvaise qualité à cause de la grande variabilité des rapports EN/b.

Gestion de la biomasse totale

Ce mode de gestion des matières solides prévoit le maintien à un niveau constant et déterminé d'avance de la biomasse totale de l'ensemble du système de traitement biologique (p. ex. le bassin d'aération et le clarificateur secondaire). La détermination du point de consigne repose sur l'expérience antérieure et une série d'approximations successives. On maintient la quantité de matières solides au niveau cible en réglant le taux d'évacuation des BAE.

La gestion de la biomasse totale repose sur la mesure de la concentration des MSLM dans le bassin d'aération, à l'instar des autres méthodes de gestion, mais aussi sur l'estimation du volume de boues présent dans le clarificateur. On peut se servir d'un dispositif du type « Sludge Judge » pour obtenir une carotte échantillon du contenu du clarificateur, qu'on analyse dans le but de déterminer le total des solides en suspension (TSS). On calcule ensuite la masse de matières solides contenue dans le clarificateur en multipliant la concentration dans la carotte par le volume du clarificateur. Il faut prendre soin d'obtenir un échantillon représentatif de tout le contenu du clarificateur. On peut également prélever plusieurs échantillons et faire une moyenne afin d'obtenir une concentration de matières solides représentative.

La gestion de la biomasse totale présente des avantages dans les stations d'épuration dans lesquelles on maintient une importante quantité de matières

solides dans le clarificateur (niveau élevé du lit de boues) ou lorsque le volume des boues présentes dans le clarificateur peut varier beaucoup d'une journée à l'autre ou durant la journée, à cause de la variation du débit d'eaux usées ou du taux de recirculation des BAR.

Gestion automatisée

Il est possible de mettre en place un système automatisé qui permettra de gérer les matières solides de façon uniforme et précise dans le cadre du procédé de traitement biologique. La gestion automatisée de l'évacuation des boues peut être fonction de n'importe lequel des modes de gestion mentionnés plus haut ou d'une combinaison de ces modes. L'automatisation ne fait que remplacer les étapes de gestion manuelle que le conducteur d'installation exécute pour maintenir la quantité de matières solides par des mesures déclenchées par un système informatique.

La mise en œuvre d'un plan de gestion automatisé des matières solides requiert certaines ou la totalité des mesures en ligne suivantes : la concentration des matières dans la liqueur mixte, les BAR, les BAE, l'effluent final, le débit de l'affluent, les BAE et les BAR de l'effluent, et peut-être aussi le niveau du lit de boues et la concentration dans les clarificateurs secondaires. Il existe certains systèmes de gestion exclusifs. Pour trouver de plus amples détails au sujet de la gestion automatisée de l'évacuation des boues, le lecteur est prié de consulter les documents suivants :

- *Automated Process Control Strategies, A Special Publication* (WEF, 1997);
- *Sensing and Control Systems: A Review of Municipal and Industrial Experiences* (WERF, 2002), et
- *Five Case Histories of Automatic Sludge Age Control* (Hill et coll., 2002).

3.3.3 CLARIFICATEURS SECONDAIRES

Les clarificateurs secondaires servent essentiellement à trois fins :

- éliminer la biomasse de l'effluent dans le bioréacteur;
- recueillir les matières décantées et les retourner dans le bioréacteur, et
- enlever les écumes.

La biomasse se dépose dans le clarificateur et le système de recirculation des boues activées (BAR) pompe les boues décantées, concentrées le plus possible, dans le clarificateur et les retourne au bassin d'aération. La gestion du système de pompage des BAR permet de maintenir le niveau du lit de boues et la concentration des BAR au niveau optimal dans le clarificateur secondaire. Autrement, si le débit est élevé, les boues seront transférées du bioréacteur au clarificateur plus rapidement qu'elles ne sont évacuées par le système de pompage des BAR; l'épaisseur du lit de boues augmentera et il y aura peut-être débordement par-dessus le déversoir du clarificateur. Si le débit est faible, les boues seront évacuées du clarificateur plus rapidement qu'elles n'y entrent en provenance du bioréacteur et ne pourront épaissir de façon efficace, ce qui donnera des boues en retour diluées et un gaspillage d'énergie. La gestion des

BAR doit poursuivre les objectifs qui suivent, selon la conception du système et le résultat escompté (WEF, 1996) :

- prévenir une grave défaillance du procédé (aucun emportement de matières solides par les eaux lorsque le débit est élevé);
- réduire au minimum les matières solides en suspension dans l'effluent;
- prévenir la dénitrification;
- optimiser l'épaississement en vue du traitement des matières solides;
- prévenir les obstacles à l'épaississement attribuables au foisonnement des matières solides ou à une capacité insuffisante du clarificateur, et
- optimiser l'efficacité en ce qui a trait aux coûts d'exploitation et d'entretien.

En ce qui a trait au retour des boues dans un bassin d'aération, il existe divers choix en matière de gestion qui permettent d'atteindre les objectifs mentionnés plus haut et de gérer les matières solides présentes dans le clarificateur secondaire. Au nombre des stratégies de gestion des BAR d'usage courant, mentionnons :

- le maintien d'un taux constant de pompage des BAR;
- le pompage des BAR proportionnellement au débit, et
- la gestion du niveau du lit de boues.
- L'objectif de la stratégie de gestion des BAR consiste à garder le temps de rétention des matières solides dans le clarificateur relativement uniforme et à maintenir un équilibre stable entre la quantité de boues présente dans le clarificateur et celle présente dans le bioréacteur. Wheeler et coll. (2001) décrivent la façon dont on a géré efficacement ces paramètres en vue d'améliorer l'efficacité d'une STEP.

Taux constant de pompage des boues activées de retour (BAR)

La méthode la plus simple consiste à établir un taux de pompage constant pendant toute la journée. Compte tenu de sa simplicité et des exigences minimales en matière de gestion, cette méthode est utilisée plus souvent dans les petites stations dont la marge de manœuvre est limitée et elle consiste ordinairement à régler manuellement la position de la vanne ou la vitesse de pompage pour déterminer le débit. En règle générale, lorsque le taux de pompage des BAR est constant, les pompes fonctionnent en tout temps au débit maximal. Dans le cas où il est possible de modifier la vitesse de pompage ou la position de la vanne, le conducteur d'installation peut faire varier le taux de pompage des BAR d'une journée à l'autre en fonction des modifications de la décantabilité des boues ou des autres conditions d'exploitation.

Le maintien d'un taux constant de pompage des BAR entraîne la variation de la quantité de MSLM dans le procédé d'aération, celle du niveau du lit de boues dans les clarificateurs secondaires et celle de la concentration des BAR. Lorsque le débit de la station est plus élevé durant la journée, les matières solides entrent dans le clarificateur à un rythme plus rapide que celui auquel elles sont retournées dans le bassin d'aération. Il s'ensuit une accumulation de matières solides dans le clarificateur, dont on doit tenir compte dans la gestion de la

quantité de matières dans le cadre du procédé général de traitement secondaire. Par ailleurs, lorsque le débit est plus faible, les matières solides sont retournées au bassin d'aération à un rythme plus rapide que celui auquel elles entrent dans le clarificateur. En fait, le clarificateur sert de réservoir d'entreposage des MSLM et l'épaisseur du lit de boues varie constamment au fur et à mesure que les MSLM passent du bassin d'aération au clarificateur, et inversement.

Pompage des BAR proportionnellement au débit

Dans le cas du pompage des BAR proportionnellement au débit, le taux de pompage varie en fonction de la modification du débit dans la station. Pour être efficace, la gestion du taux de pompage des BAR doit être automatique. Le système de gestion automatique comporte des débitmètres qui mesurent le débit de BAR et celui de l'affluent du procédé secondaire; le système peut également modifier le taux de pompage en réponse à un signal. Le système de gestion doit être programmé de façon à maintenir le débit de BAR à un pourcentage constant du débit de l'affluent du bassin d'aération. Cependant, lorsque le débit de l'affluent est élevé, la variation du débit de BAR peut causer la défaillance du clarificateur (WEF, 1997). Dans le cas où la gestion se fait manuellement, on doit procéder à de fréquents réglages du taux de pompage des BAR selon le débit de l'affluent.

En comparaison avec le fonctionnement à taux de pompage constant, le pompage des BAR proportionnellement au débit permet d'obtenir une hauteur plus uniforme du lit de boues au niveau de la paroi du clarificateur secondaire et une concentration en MSLM plus constante dans le bioréacteur. À mesure que le débit des MSLM dans le clarificateur augmente, le taux de recirculation des boues du clarificateur vers le bioréacteur augmente lui aussi, ce qui empêche les boues de s'accumuler dans le clarificateur.

Gestion du niveau du lit de boues

Cette méthode de gestion des matières solides repose sur le maintien d'une hauteur de lit de boues relativement constante dans le clarificateur secondaire. Le conducteur d'installation doit examiner chaque jour le niveau du lit de boues et les taux de recirculation de plusieurs jours précédents, et tenter de maintenir le taux de pompage des BAR à l'intérieur de la plage cible, qui est fonction de l'expérience passée. Dans un clarificateur circulaire, on doit toujours maintenir la hauteur du lit de boues entre 0,3 et 0,9 m; celle-ci ne doit ordinairement pas dépasser 25 p. 100 de la profondeur nominale des eaux latérales dans le bassin (WEF, 1996). Dans un clarificateur rectangulaire, la hauteur du niveau du lit varie sur la longueur du bassin, mais elle doit être maintenue à un niveau qui empêche la recirculation de boues.

Lorsque le niveau du lit de boues est élevé, il risque d'y avoir détérioration de la qualité de l'effluent et cela montre que le clarificateur est surchargé en raison d'un fort débit, d'un taux de recirculation inadéquat (trop élevé ou trop bas) ou encore, d'une concentration trop élevée en MSLM due à une évacuation insuffisante. Le niveau élevé du lit de boues, conjugué à une faible concentration en matières solides, peut découler d'une mauvaise décantation des boues et il

traduit habituellement une défaillance du procédé dans le bioréacteur. En présence de boues foisonnantes, le conducteur de l'installation doit se montrer vigilant car l'accroissement du taux de recirculation de ces boues peut entraîner une autre augmentation du niveau du lit. De plus, l'accroissement du débit dans le clarificateur peut provoquer de la turbulence et des courts-circuits.

Comme le niveau du lit de boues varie tout au long de la journée en raison de la variation du débit et des caractéristiques, il est préférable de mesurer le niveau durant le débit maximal quotidien lorsque le taux de charge dans le clarificateur est le plus élevé. On doit toujours procéder de la même façon pour mesurer le niveau du lit de boues, en ce qui a trait à l'endroit, à l'heure de la journée et à la méthode utilisée. On peut mesurer le niveau du lit de boues manuellement ou au moyen d'un détecteur automatique en ligne. On règle le débit des BAR d'après le niveau cible du lit.

La gestion du niveau du lit de boues permet de détecter toute modification de la décantabilité des boues, qui influe sur le niveau du lit, et de modifier le taux de pompage des BAR pour qu'il reflète la modification en question. Cela constitue un avantage en comparaison avec le pompage des BAR proportionnellement au débit, qui ne réagit pas aux modifications de la décantabilité des boues. La gestion automatisée du niveau du lit de boues demande effectivement plus que les autres méthodes de gestion qu'on utilise des instruments plus perfectionnés, notamment un détecteur de niveau de lit de boues.

3.3.4 PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES BOUES

Les objectifs des procédés de traitement des boues peuvent inclure la stabilisation des matières solides, la réduction de la masse et du volume des matières solides exigeant un traitement plus poussé ou l'épandage sur les sols agricoles, et le conditionnement des matières solides qui permettra de les déshydrater efficacement. La stabilisation biologique, soit par voie aérobie, soit par digestion anaérobie, est le procédé de stabilisation des boues le plus répandu.

L'optimisation des conditions de fonctionnement des processus de digestion peut souvent permettre de rendre ces derniers plus efficaces. La gestion des matières solides durant le processus de digestion, qui permet de déterminer le temps de rétention hydraulique et le temps de rétention des matières solides dans le système, est souvent la clé de l'optimisation de l'efficacité du processus.

L'épaississement préalable des boues en vue d'en augmenter la concentration et d'en diminuer le volume envoyé dans le digesteur augmente proportionnellement le temps de séjour dans le digesteur, ce qui améliore l'efficacité de ce dernier. Dans le processus de digestion anaérobie, la chaleur requise pour préchauffer les boues est elle aussi réduite (WEF, 1996) et la production de gaz augmente en même temps que le niveau de destruction de matières solides volatiles. L'épaississement préalable des boues peut se faire par décantation gravitaire ou à l'aide d'un procédé mécanique tel qu'une centrifugeuse ou un épaisseur rotatif.

L'épaississement des BAE conjointement avec celui des matières solides primaires dans le décanteur primaire est une pratique répandue, mais les boues

pompées vers les procédés d'aval sont alors plus diluées. L'épaississement distinct des BAE à l'aide de procédés tels que les centrifugeuses, les épaisseurs rotatifs, les épaisseurs par gravité et les épaisseurs par flottation à l'air dissous, produit une boue plus concentrée (de 4 à 8 % de MST), ajoute à la capacité du décanteur primaire et réduit le risque d'une surcharge du processus biologique causée par la recirculation de matières solides du décanteur primaire vers le bioréacteur d'aval. L'épaississement distinct des BAE peut être particulièrement avantageux dans les stations à système d'aération prolongée pour ce qui est d'augmenter la capacité et d'améliorer l'efficacité des digesteurs aérobies couramment utilisés dans ce type de station.

Le postépaississement à l'aide d'épasseurs mécaniques ou par décantation gravitaire des boues digérées réduit le volume des biosolides qu'il faut gérer. Dans la stabilisation par voie aérobie ou la digestion anaérobie en deux étapes classique, la seconde étape du processus est destinée à obtenir le postépaississement des biosolides stabilisés. La gestion des biosolides contenus dans le processus est essentielle à l'obtention d'un temps de décantation adéquat dans le digesteur secondaire, ce qui permet d'optimiser la concentration des boues.

La Water Environment Research Foundation (WERF) a récemment terminé l'examen des systèmes d'automatisation servant à optimiser le fonctionnement des procédés mécaniques d'épaississement et de déshydratation (WERF 1998). L'étude a permis de recenser et d'évaluer plusieurs systèmes exclusifs d'automatisation et de gestion servant à optimiser les opérations d'épaississement et de déshydratation. Il a été démontré que l'automatisation permettait de réduire les coûts de produits chimiques et d'augmenter la concentration des boues épaissies, mais les instruments associés aux systèmes d'automatisation demandent beaucoup d'entretien.

3.3.5 FERMENTEURS

La fermentation des boues primaires, normalement associée aux procédés d'élimination biologique des nutriments (BNR), vise à produire une source de composés organiques rapidement biodégradables à l'intention des micro-organismes mêlés à la déphosphatation biologique. Ces composés organiques peuvent également servir de source d'énergie aux processus de dénitrification biologique dans lesquels le nitrate est converti en azote en l'absence d'oxygène moléculaire. Le maintien d'une certaine quantité de boues dans le fermenteur demande qu'on détermine la quantité optimale de matières solides qu'il doit y avoir dans le bassin pour qu'il soit possible d'obtenir un temps de rétention des matières solides (TRS) qui se situe entre 4 et 8 jours. La gestion des matières solides vise à éviter les conditions qui permettent la production de méthane dans le fermenteur lorsque le TRS est trop long. L'excès de boues fermentées est continuellement retiré du fermenteur et pompé vers les procédés de manutention des boues.

Pour gérer les matières solides, on peut utiliser une des méthodes suivantes :

- Surveillance du niveau du lit de boues;
- Gestion du taux de matières solides dans l'alimentation en boues primaires.

Les micro-organismes mêlés à la déphosphatation biologique ont besoin d'une source de carbone (acides gras volatils) comme charge d'alimentation et obtiennent un avantage concurrentiel lorsqu'ils ont accès aux acides gras volatils courts, principalement l'acétate et le propionate. Il faut environ de 4 à 6 g d'acides gras volatils pour éliminer 1 g de phosphore. Quand la dénitrification biologique a elle aussi lieu, il faut environ 4 g d'acides gras volatils pour dénitrifier 1 g de nitrate-azote. Dans bon nombre de procédés BNR, les micro-organismes peuvent utiliser la même source de carbone pour l'élimination de l'azote et la déphosphatation.

On utilise couramment quatre types de configuration de fermenteur de boues primaires pour produire des acides gras volatils dans les procédés BNR :

- Boues primaires activées;
- Fermenteur infiniment mélangé;
- Fermenteur statique; et
- Mélange homogène/épaisseur.

Dans la plupart des fermenteurs, il y a à la fois épaissement et fermentation des boues primaires. La figure 3-4 représente le chemin de fermentation des boues primaires.

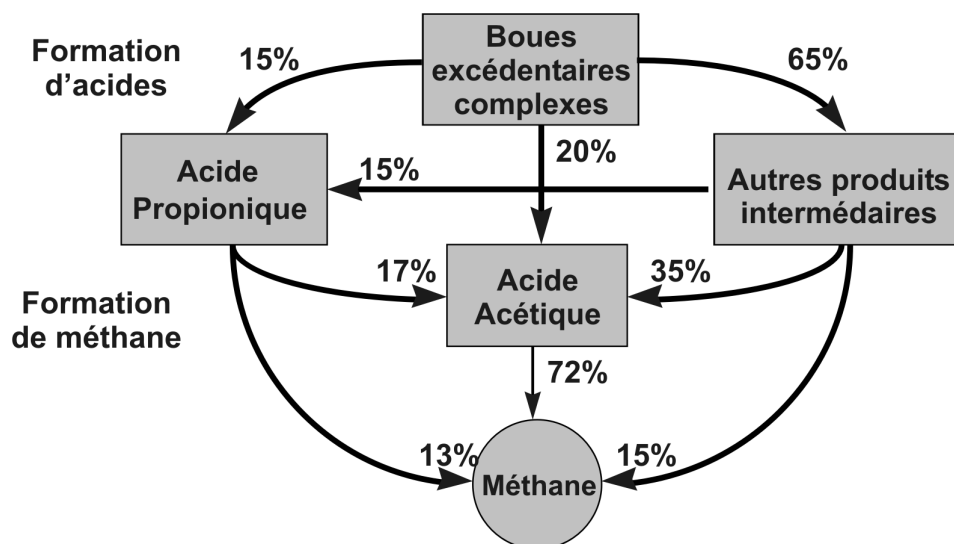


Figure 3-4. – Chemin de fermentation des boues primaires.

Source : docteur James Barnard.

Séminaire sur l'élimination biologique des nutriments dans les régions froides, présenté par James L Barnard, Ph.D., ing., les 18 et 19 mars 2004, à Edmonton (Alberta) et commandité par Alberta Environment – Northern Region et la ville d'Edmonton.

4. CAS D'UTILISATION ET LIMITATIONS

4.1 CAS D'UTILISATION

Les éléments de la présente règle de l'art portant sur la gestion des matières solides s'appliquent aux STEP mécaniques de toute taille et de toute sorte. Puisque la gestion efficace des matières solides est essentielle à l'optimisation de l'efficacité d'une STEP, les principes décrits ici s'appliquent à tous les procédés unitaires en usage dans les stations d'épuration. La comptabilisation des boues doit avoir lieu invariablement chaque mois et chaque année, ce qui permettra de confirmer qu'il est possible d'établir le bilan massique des matières solides présentes dans la station d'épuration et de contrôler la qualité de l'exploitation de l'installation.

4.2 RESSOURCES

L'application manuelle des techniques de gestion des matières solides qui sont décrites dans la présente règle de l'art ne nécessite aucun nouvel outil ou technique de mesure autre que ceux utilisés couramment dans la plupart des stations d'épuration des eaux usées. Parmi ces techniques, mentionnons la mesure des débits clés tels que le débit d'eaux d'égout brutes, le débit de boues activées de retour (BAR), le débit de boues activées excédentaires (BAE), le débit de boues primaires dans le clarificateur et le débit de boues digérées, ainsi que l'analyse des principaux flux d'eaux usées et de boues servant à déterminer le volume et la concentration de matières solides.

L'automatisation de certaines des techniques de gestion des matières solides exige la mesure en ligne de certains paramètres, tels que la concentration des boues et le niveau du lit de boues, et l'utilisation d'un système évolué d'acquisition et de contrôle des données (SCADA) pour la mise en place de la logique de commande.

4.3 LIMITATIONS

La présente règle de l'art met l'accent sur les STEP mécaniques plutôt que sur les étangs d'épuration. L'accumulation des matières solides dans un étang est difficile à déterminer avec précision et il est impossible de comptabiliser les boues ou d'établir le bilan massique exact des matières solides dans le cas d'une station à lagunage.

On peut et on doit comptabiliser les boues dans le cas de tout type de station d'épuration mécanique (p. ex. à traitement primaire, à traitement secondaire à l'aide de tout type de procédé biologique à biomasse fixe ou en suspension, ou à traitement tertiaire). Cependant, les concepts décrits ici en rapport avec la gestion des matières solides dans le cadre du procédé de traitement biologique ne s'appliquent pas aux procédés à biomasse fixe, tels que les disques biologiques et les lits bactériens. Dans ces procédés (contrairement aux systèmes hybrides ou à matières en suspension), le conducteur d'installation ne peut déterminer le taux d'évacuation des boues issues du procédé. Il s'ensuit qu'il n'est en mesure de gérer ni le TRS ni les matières solides.

5. ÉVALUATION

La mise en œuvre d'un programme de gestion des matières solides doit comporter le contrôle et le suivi des matières dans le cadre du procédé qui permettront de déterminer si la stratégie de gestion utilisée est efficace. La quantité de matières solides totale doit être déterminée chaque jour et représentée graphiquement en termes de temps de rétention des matières solides (TRS), de masse de boues (en kg ou en tonnes), de volume des matières centrifugées (en pourcentage) et d'unités de mesure des boues. Afin de réduire au minimum les répercussions des variations journalières normales, on doit calculer et représenter graphiquement les moyennes mobiles sur sept jours des principaux paramètres de gestion.

Une bonne gestion des matières solides doit permettre de maintenir l'écart entre le paramètre de gestion choisi et la valeur cible entre 10 et 20 p. 100. Le suivi à long terme du paramètre choisi pour chaque procédé unitaire (p. ex. TRS, EN/b, MSLM ou biomasse totale dans le système de traitement biologique) sert à démontrer l'efficacité de la gestion. Lorsque celle-ci s'est avérée efficace au point de consigne optimal, on constate que l'efficacité de la STEP est plus fiable, que la qualité de l'effluent s'améliore ou se maintient et qu'il y a possibilité d'augmenter la capacité du système.

ANNEXE A : EXEMPLE DE CALCUL D'UN BILAN MASSIQUE

A.1 CLARIFICATEUR PRIMAIRE

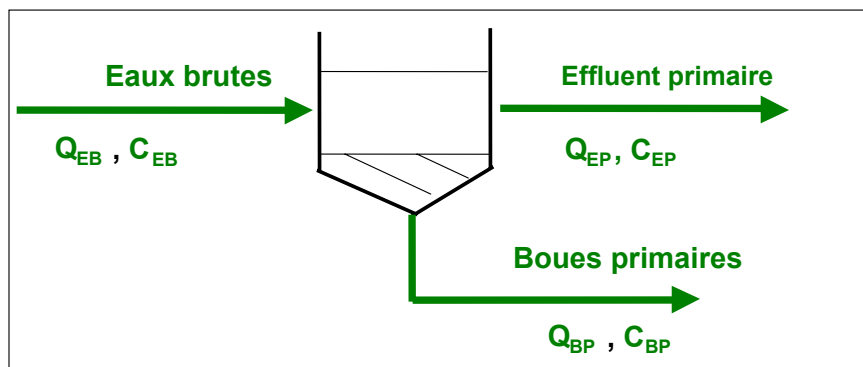


Figure A-1 : **Bilan massique des matières solides relatives à un clarificateur primaire.**

Où :

$$Q_{EB} = 1000 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$C_{EB} = 200 \text{ mg/L de TSS}$$

$$C_{EP} = 80 \text{ mg/L}$$

$$Q_{BP} = 5 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$C_{BP} = 4,5\% \text{ des MTS}$$

$$= 45\,000 \text{ mg/L de MTS}$$

$$\text{MATIÈRES ENTRANTES} = Q_{EB} * C_{EB}$$

$$= \left(1000 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times \frac{200 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \right)$$

$$= 200 \text{ kg/j de matières solides}$$

$$\text{MATIÈRES SORTANTES} = Q_{EP} * C_{EP} + Q_{BP} * C_{BP}$$

$$\text{Où } Q_{EP} = Q_{EB} - Q_{BP}$$

$$= 1000 \text{ m}^3/\text{j} - 5 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$= 995 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MATIÈRES SORTANTES} &= \left(995 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times 80 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6 \text{mg}} \right) + \\
 &\left(5 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times 45,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6 \text{mg}} \right) \\
 &= \left(79,6 \frac{\text{kg}}{\text{j}} \right) + \left(225 \frac{\text{kg}}{\text{j}} \right) \\
 &= 304,6 \frac{\text{kg}}{\text{j}}
 \end{aligned}$$

Ainsi, les matières sortantes $\left(304,6 \frac{\text{kg}}{\text{j}} \right)$ dépassent les matières entrantes $\left(200 \frac{\text{kg}}{\text{j}} \right)$ de 52 p. 100.

Conclusions

- L'écart dans le bilan massique est supérieur à ± 15 p. 100.
- Le conducteur d'installation doit :
 - vérifier la précision des débitmètres de boues ou d'eaux d'égout brutes;
 - confirmer que les protocoles d'échantillonnage sont représentatifs dans le cas des eaux d'égout brutes, de l'effluent primaire et des boues;
 - vérifier les méthodes d'analyse relatives au total des matières solides et à celui des matières solides en suspension, et
 - vérifier si le niveau du lit de boues (accumulation de matières solides) dans le clarificateur n'a pas diminué au cours de la période étudiée.

A.2 CLARIFICATEUR PRIMAIRE AVEC FLUX DE RECIRCULATION

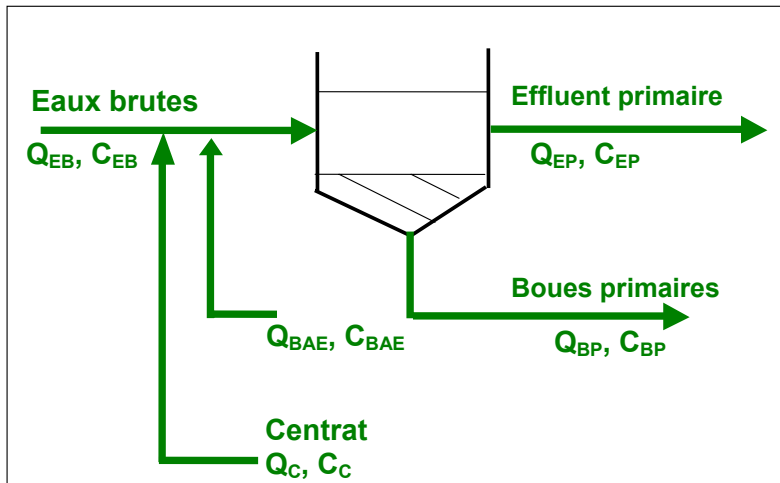


Figure A-2 : Bilan massique des matières solides relatives à un clarificateur primaire avec flux de recirculation.

Où :

$$\begin{aligned}
 Q_{EB} &= 1000 \text{ m}^3/\text{j} \\
 C_{EB} &= 200 \text{ mg/L de TSS} \\
 Q_{BAE} &= 16 \text{ m}^3/\text{j} \\
 C_{BAE} &= 8\,000 \text{ mg/L de TSS} \\
 Q_C &= 3 \text{ m}^3/\text{j} \\
 C_C &= 2\,500 \text{ mg/L de TSS} \\
 C_{EP} &= 80 \text{ mg/L} \\
 Q_{BP} &= 10 \text{ m}^3/\text{j} \\
 C_{BP} &= 3,0\% \text{ des MTS} \\
 &= 30\,000 \text{ mg/L de MTS}
 \end{aligned}$$

$$\text{MATIÈRES ENTRANTES} = Q_{EB} * C_{EB} + Q_C * C_C + Q_{BAE} * C_{BAE}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(1000 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times \frac{200 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \right) \\
 &+ \left(3 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times \frac{2500 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \right) \\
 &+ \left(16 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \times \frac{8000 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= (200 \frac{kg}{j}) + (75 \frac{kg}{j}) + (128 \frac{kg}{j}) = 403 \frac{kg}{j}$$

$$= 403 \frac{kg}{j}$$

$$\text{MATIÈRES SORTANTES} = Q_{EP} * C_{EP} + Q_{BP} * C_{BP}$$

$$\text{où } Q_{EP} = (Q_{EB} + Q_C + Q_{BAE}) - Q_{BP}$$

$$= (1000 \frac{m^3}{j} + 3 \frac{m^3}{j} + 16 \frac{m^3}{j}) - 10 \frac{m^3}{j}$$

$$= 1009 \frac{m^3}{j}$$

$$\text{MATIÈRES SORTANTES} = (1009 \frac{m^3}{j} \times 80 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1kg}{10^6 mg}) +$$

$$(10 \frac{m^3}{j} \times 30,000 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1kg}{10^6 mg})$$

$$= (80,7 \frac{kg}{j}) + (300 \frac{kg}{j})$$

$$= 380,7 \frac{kg}{j}$$

Ainsi, les matières sortantes ($380,7 \frac{kg}{j}$) correspondent à 94,5 % des matières entrantes ($403 \frac{kg}{j}$).

Conclusion

- L'écart dans le bilan massique est inférieur à ± 15 p. 100 et l'information est fiable.

A.3 TRAITEMENT SECONDAIRE

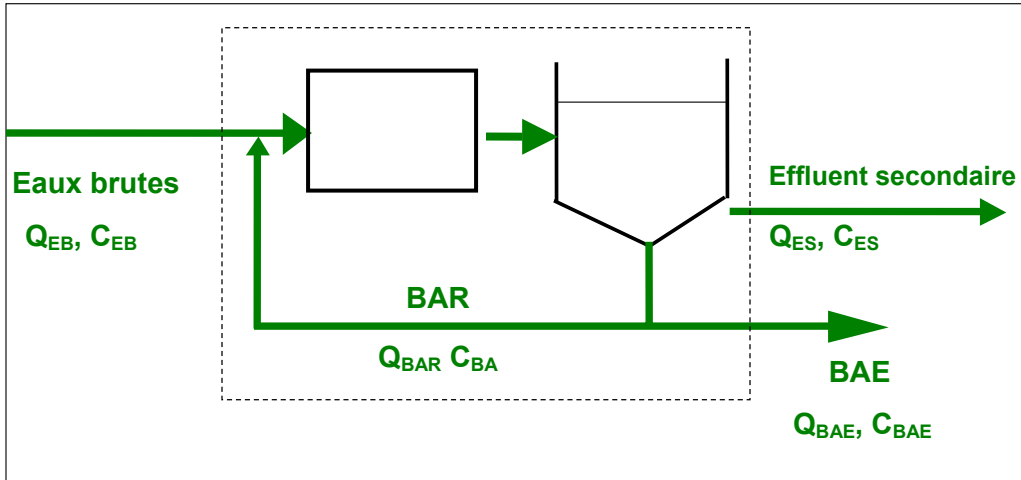


Figure A-3 : Bilan massique des matières solides dans une station avec système d'aération prolongée.

Où :

$$\begin{aligned}
 Q_{EB} &= 1000 \text{ m}^3/\text{j} \\
 C_{EB} &= 200 \text{ mg/L de DBO}_5 \\
 Q_{BAE} &= 16 \text{ m}^3/\text{j} \\
 C_{BAE} &= 4000 \text{ mg/L} \\
 Q_{ES} &= 15 \text{ mg/L MTS et } 15 \text{ mg/L de DBO}_5
 \end{aligned}$$

$$\text{MATIÈRES ENTRANTES} = Q_{EB} * C_{EB} * \text{Rendement en biomasse}$$

où le rendement en biomasse selon le tableau 3 = 0,65 kg de TSS/kg de DBO éliminé.

$$\text{MATIÈRES ENTRANTES} =$$

$$\begin{aligned}
 &[\\
 &1000 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} * x \left(\frac{200 \text{ mg DBO}_5}{\text{L}} - \frac{15 \text{ mg DBO}_5}{\text{L}} \right) * 0,65 \frac{\text{kg STS}}{\text{kg DBO}_5} * x \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} * x \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \\
 &] \\
 &= 120,25 \frac{\text{kg STS}}{\text{j}}
 \end{aligned}$$

$$\text{MATIÈRES SORTANTES} = Q_{ES} * C_{ES} + Q_{BAE} * C_{BAE}$$

$$\text{Où } Q_{ES} = Q_{EB} - Q_{BAE}$$

$$= \left(1000 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} - 16 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \right)$$

$$= 984 \frac{m^3}{j}$$

$$\begin{aligned} \text{MATIÈRES SORTANTES} &= \left(984 \frac{m^3}{j} \times 15 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{m^3} \times \frac{1kg}{10^6 mg} \right) + \\ & \left(16 \frac{m^3}{j} \times 4,000 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{m^3} \times \frac{1kg}{10^6 mg} \right) + \\ &= \left(14,8 \frac{kg}{j} \right) + \left(64 \frac{kg}{j} \right) \\ &= 78,8 \frac{kg}{j} \end{aligned}$$

Ainsi, les matières sortantes mesurées $\left(78,8 \frac{kg}{j} \right)$ correspondent à 65,5 % des matières entrantes estimées $\left(120,25 \frac{kg}{j} \right)$.

Conclusions

- Les matières solides qui auraient dû être produites $(120,25 \text{ kg/j})$ ne sont pas toutes comptabilisées dans le volume de solides à la fin du procédé $(78,8 \text{ kg/j})$.
- Il faut examiner la liqueur mixte dans le bassin d'aération et déterminer si les matières solides dans le bassin ont augmenté d'un volume correspondant à l'écart dans le bilan massique $(120,25 \text{ kg/j} - 78,8 \text{ kg/j} = 41,45 \text{ kg/j})$.
- Il faut examiner le niveau du lit de boues dans le clarificateur et déterminer si la masse des matières solides non comptabilisées dans le bilan massique s'est accumulée dans le clarificateur et fait augmenter le niveau du lit ou la concentration des boues.
- Quand la quantité de matières solides présente dans le bassin d'aération ou le clarificateur n'a pas changé, il faut évaluer les autres sources d'écart (mesure du débit, échantillonnage, méthode d'analyse, flux de recirculation inconnus, etc.).

ANNEXE B :

EXEMPLE DE CALCUL DE MOYENNE MOBILE

La moyenne mobile fournit sur la tendance des renseignements qu'on ne peut obtenir avec une simple moyenne de toutes les données, en aplanissant les fluctuations dans l'ensemble de données. La moyenne mobile du TRS sur sept jours se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Moyenne mobile sur 7 jours} = \frac{\text{somme des valeurs réelles TRS pour les 7 derniers jours}}{7}$$

Le tableau B-1 présente les valeurs journalières réelles de TRS et les moyennes mobiles correspondantes sur 7 jours pour une période de 28 jours. La Figure B-1 illustre la courbe des TRS réels et de la moyenne mobile sur 7 jours pour la période en question.

Tableau B-1 : Valeurs réelles de TRS et moyenne mobile sur 7 jours.

Jour	TRS	
	Journalière (jour)	Moyenne mobile sur sept jours (jour)
1	13,1	s.o.
2	13,6	s.o.
3	14,7	s.o.
4	12,1	s.o.
5	1,0	s.o.
6	5,4	s.o.
7	6,7	10,8
8	6,6	9,9
9	7,1	8,9
10	8,1	8,0
11	7,9	7,4
12	14,3	8,0
13	14,8	9,4
14	13,1	10,3
15	12,1	11,1
16	14,6	12,1
17	12,8	12,8
18	1,0	13,1
19	8,2	12,2
20	8,6	11,3
21	6,7	10,4
22	6,5	9,6
23	8,8	8,8
24	10,1	8,4
25	10,6	8,5
26	13,5	9,3
27	13,1	9,9
28	14,8	11,1

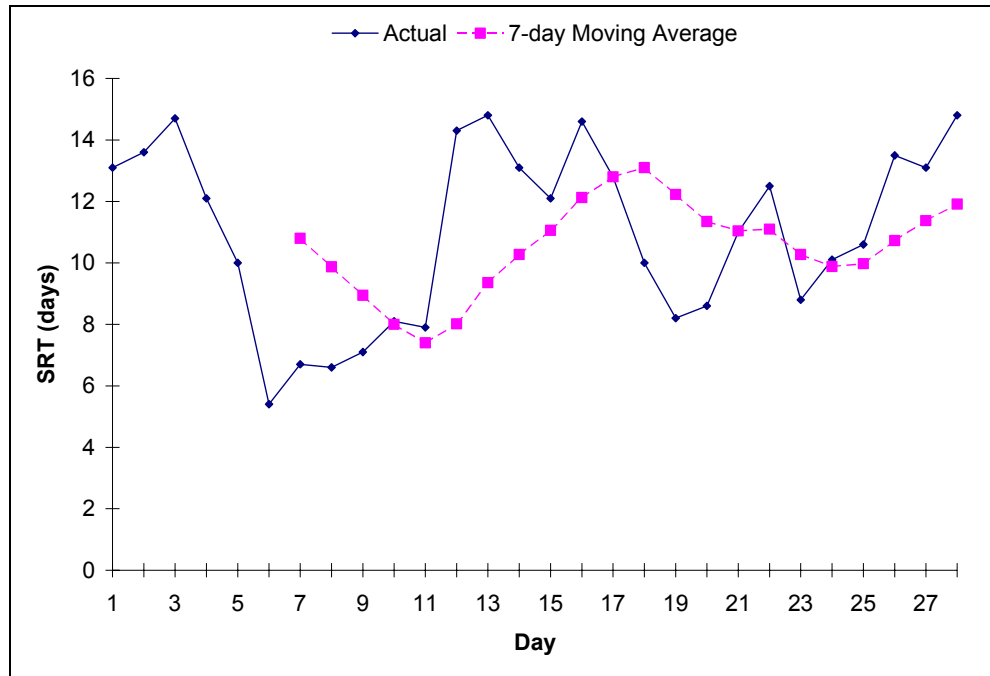


Figure B-1 : Valeurs réelles de TRS et moyenne mobile sur 7 jours.

BIBLIOGRAPHIE

- Albertson, O.E., et T. Walz, 1997. "Optimizing Primary Clarification and Thickening", *Water & Environment Technology*, December. Edmonton (Alberta).
- Barnard, James L., Ph.D., eng., 2004. Séminaire sur l'élimination biologique des nutriments dans les régions froides. Parrainé par Alberta Environment – Northern Region et la ville d'Edmonton (Alberta), les 18 et 19 mars.
- Clifton, J. et R. Schuyler, 1998. "Off the Beaten Path", *Operations Forum*, mai. Rothberg, Tamburini, Winsor, Inc. (RTW), Denver (Colorado).
- Gray, A.C. Jr., P.E. Paul et H.D. Roberts, 1979. Evaluation of Operation and Maintenance Factors Limiting Biological Wastewater Treatment Plant Performance. EPA-600/2/79/078, juillet., Washington, DC.
- Hegg, B.A., K.L. Rakness et J.R. Schultz, 1979. Evaluation of Operation and Maintenance Factors Limiting Municipal Wastewater Treatment Plant Performance. EPA-600/2-79-034, juin, Washington, DC.
- Hegg, B.A., K.L. Rakness, J.R. Schultz et L.D. Demers, 1980. Evaluation of Operating and Maintenance Factors Limiting Municipal Wastewater Treatment Plant Performance. EPA-600/2-80-129, août, Washington, DC.
- Hill, B., S.G. Nutt et E.V. Davidson, 2002. *Five Case Histories of Automatic Sludge Age Control*. Compte rendu du congrès 2002 de la WEFTEC, octobre.
- Ontario, ministère de l'Environnement, 1984. *Guidelines for the Design of Sewage Treatment Plants*, juillet. Toronto (Ontario).
- United States, EPA (Environmental Protection Agency), 1976. *Process Design Manual for Phosphorus Removal*. EPA625/1-76-001a.
- United States, EPA (Environmental Protection Agency), 1976. *Process Design Manual for Phosphorus Removal*. EPA625/1-76-001a, Washington, DC.
- , 1989. *Handbook: Retrofitting POTWs*. EPA/625/6-89/020, Washington, DC.
- WEAO (Water Environment Association of Ontario), 1996. "Guidance Manual for Sewage Treatment Plant Liquid Treatment Process Audits", Milton (Ontario).
- WEF (Water Environment Federation), 1996. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Cinquième édition. Manual of Practice – MOP 11, Alexandria (Virginia)
- , 1997. *Automated Process Control Strategies*, A Special Publication, Alexandria (Virginia)

WERF (Water Environment Research Foundation), 2002. *Sensing and Control Systems: A Review of Municipal and Industrial Experience*, Alexandria (Virginia)

———, 1998. *Optimizing Thickening and Dewatering Operations Through Automation*, Alexandria (Virginia)

Wastewater Technology Center and Process Applications Inc., 1995. “The Ontario Composite Correction Program manual for Optimization of Sewage Treatment Plants” (Ontario).

West, A.W., 1975. Part I, Observations; Part II, Control Tests; Part III-A, Calculation Procedures, *Operational Control Procedures for the Activated Sludge Process*. United States: Environmental Protection Agency, révisé en novembre, Washington, DC.

Wheeler, G., B.A. Hegg, et C. Walsh, 2001. “Capital Defense”, *Water Environment & Technology*, WEFTEC, septembre, Alexandria (Virginia).

WPCF (Water Pollution Control Federation) 1990. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Manual of Practice No. 11, Alexandria (Virginia).

XCG Consultants Ltd., 1992. *Assessment of Factors Affecting the Performance of Ontario Sewage Treatment Facilities*, Oakville (Ontario).